ББК 32.884.19
В80

Составитель Н. Ф. Назаров

В помощь радиолюбителю: Сборник. Вып. 90.
В80 /Сост. Н. Ф. Назаров.— М.: ДОСААФ, 1985.— 79 с., ил.

30 к.

Приведены описания конструкций, принципиальные схемы и методика расчета их некоторых узлов. Учтены интересы начинающих и квалифицированных радиолюбителей.
Для широкого круга радиолюбителей.

В $\frac{2402020000-062}{072(02)-85}$ 28—85 ББК 32.884.19 6Ф2.9

РАДИОЛЮБИТЕЛЮ-КОНСТРУКТОРУ

УСТРОЙСТВА СДВИГА ЧАСТОТЫ НА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Л. Королев

Устройства сдвига частоты (УСЧ) находят широкое применение в разнообразной творческой деятельности радиолюбителей. Так, в области электронной музыки и музыкальной акустики УСЧ широко используются для формирования практически всех видов унисонов — компактных классических унисонов фортепианного типа, синтетических многозвуковых унисонов, унисонного вибрато и др. УСЧ универсальны и могут работать как с электромузыкальными инструментами (ЭМИ) и электромузыкальными синтезаторами (ЭМС), так и с обычными музыкальными инструментами и певческими голосами. При большом сдвиге спектра частот УСЧ дают возможность получать оригинальные звуковые эффекты. Наконец, УСЧ могут быть составными частями самих ЭМИ и ЭМС, например электрофортепиано, где проблема формирования красивых унисонов является одной из первостепенных.

Исключительно интересным является применение УСЧ в области электроакустики — в системах звукоусиления, где смещение спектра частот усиливаемого сигнала на 5 Гц в простейшем случае дает возможность получить выигрыш индекса усиления в озвучиваемом помещении в среднем на +6 дБ.

Весьма интересным является применение предлагаемых УСЧ в псевдоквадрафонии. В режиме регулируемого фазовращателя с помощью таких устройств можно легко и плавно изменять глубину псевдостереоэффекта от нулевого значения до максимума и даже получать качающийся псевдостереоэффект, переходящий при определенных условиях в глубокое пространственно-фазовое вибрато. Это может найти применение как при прослушивании монофонических звукозаписей в домашней

обстановке, так и при озвучивании театральных залов, студий и т. д.

Важнейший функциональный узел предлагаемых УСЧ — широкополосный фазовращатель — может быть использован в технике радиосвязи: в коротковолновых передатчиках для получения однополосного (SSB) сигнала фазокомпенсационным способом. Кроме того, УСЧ в режиме управляемых фазовращателей могут быть использованы в автоматике и телемеханике, в научных исследованиях, а также в измерительной технике как основа фазометров для измерения разности фаз компенсационным способом.

В статье рассмотрены: принцип получения частотного сдвига с помощью электромеханических преобразователей, требования к основным функциональным узлам УСЧ и два конкретных устройства с применением двухфазных и трехфазных электромеханических преобразователей, области применения предлагаемых УСЧ и особенности, которыми должны обладать эти устройства в конкретной области применения.

Получение частотного сдвига ранее чаще всего достигалось методами, применяемыми при формировании SSB сигнала. Недостатком такого рода устройств является их сложность, большая трудоемкость наладки и малая полоса пропускаемых частот.

Между тем выпускаемые промышленностью в широком ассортименте различного рода электромеханические преобразователи — сельсины, вращающиеся трансформаторы, фазовращатели, используемые, например, в устройствах автоматики и телемеханики, с большим успехом могут быть применены и в устройствах сдвига частоты. Основную тяжесть формирования частотного сдвига берет на себя электромеханический преобразователь (ЭМП), и техническое решение получается достаточно простым. Практика показывает, что низкочастотные ЭМП могут работать во всем диапазоне звуковых частот и даже захватывать начальную часть ультразвукового диапазона. В отличие от известных УСЧ важными преимуществами УСЧ с применением ЭМП являются также широкий диапазон частотного сдвига, легкость изменения в любой момент времени знака частотного сдвига, схемотехническая обратимость устройств с ЭМП.

Принцип получения сдвига частот легче всего понять из рассмотрения структурной схемы устройства (рис. 1)

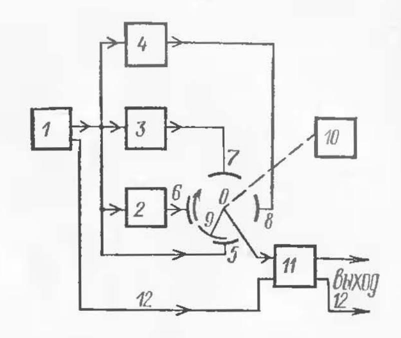


Рис. 1. Структурная схема УСЧ с использованием емкостного ЭМП и четырех фазовращателей

с использованием емкостного ЭМП, называемого также емкостным фазовращателем.

Емкостной ЭМП представляет собой четырехсекционный конденсатор переменной емкости. Емкость может изменяться перемещением подвижной металлической пластины относительно неподвижных либо другим способом — с помощью пластины из диэлектрика, перемещающейся между неподвижными пластинами. Для нашего рассмотрения и для конкретного применения это не имеет принципиального значения. Пластины *5—8* неподвижны, пластина *9* вращается относительно точки 0 с помощью приводного механизма *10*. Подвижная пластина имеет электрическую связь с нагрузкой *11*. На неподвижные пластины *5—8* с выхода генератора *1* подаются сигналы определенной частоты, но разные по фазе: на пластину *5* — без сдвига по фазе относительно общего провода *12*, на пластину *6* — со сдвигом 90°, на пластину *7* — со сдвигом 180° и на пластину *8* — со сдвигом 270°. Поворот фаз сигнала на пластинах *6, 7* и *8* осуществляется с помощью соответственно фазовращателей *2, 3* и *4*. Пусть в определенный момент времени подвижная пластина *9* полностью перекрывается с неподвижной пластиной *5*. Электрическая емкость пластин *5—9* будет в этом случае максимальной и в нагрузке *11*, т. е. на выходе устройства, будет сигнал нулевой фазы. По мере уменьшения перекрытия пластин *5, 9* и увеличения перекрытия пластин *6, 9* фаза выходного сигнала будет поворачиваться, и в момент максимального перекрытия пластин *6, 9* фаза выходного сигнала будет равна 90°. За один полный оборот подвижной пластины фаза выходного сигнала изменится от 0 до 360°, т. е. совершит полный цикл. Число полных циклов изменения

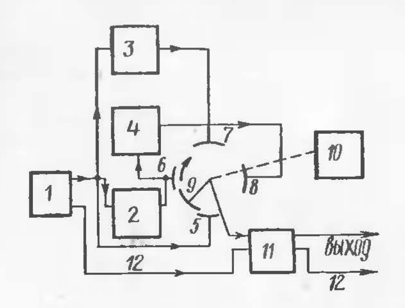


Рис. 2. Структурная схема УСЧ с использованием емкостного ЭМП и одного фазовращателя

фазы в единицу времени — в секунду — зависит от частоты вращения подвижной пластины и будет характеризовать приращение частоты к частоте входного сигнала. Таким образом, частота выходного сигнала будет смещенной относительно частоты исходного сигнала на величину, определяемую частотой вращения ротора ЭМП. Знак приращения частоты — в сторону увеличения либо в сторону уменьшения частоты исходного сигнала — будет зависеть от направления вращений ротора и фазировки питания ЭМП. Так, на рис. 1 направление вращения ротора и направление фазировки совпадают, и частота выходного сигнала будет меньше частоты сигнала генератора.

Заметным преимуществом рассматриваемых устройств является легкость изменения знака частотного сдвига. Применительно к схеме рис. 1 для этого достаточно изменить с помощью переключателя направление фазировки питания пластин *5, 7* или пластин *6, 8* без изменения направления вращения ротора.

При практической реализации рассматриваемого устройства система фазовращателей может быть упрощена — фазовращатели 180° и 270° заменяются на инверторы, подключаемые соответственно к шинам исходного сигнала и фазовращателя 90°. На рис. 2 показана функциональная схема такого устройства. Цифрой *2* обозначен фазовращатель 90°, а цифрами *3, 4* — инверторы, обеспечивающие поворот фаз исходного сигнала и сигнала с выхода фазовращателя на 180°. Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

Нетрудно понять, что для получения частотного сдвига в диапазоне звуковых частот необходим широкополосный фазовращатель 90° (в технической литературе их часто называют фазоразностными цепями). Отклонение фазового сдвига в ту или иную сторону от 90° приведет к паразитной амплитудной модуляции с удвоенной частотой вращения ротора (например, 10 Гц при частоте вращения ротора 5 оборотов в секунду) и воспринимаемой как тремоло или дрожание звука, загрязняющее тембр. Амплитудная модуляция менее 5 % от среднего значения выходного сигнала практически не слышна. Такой уровень модуляции достигается в том случае, если расчетное значение погрешности фазового сдвига не превышает 3°, а радиоэлементы подобраны с точностью не хуже одного процента. Из сказанного следует, что наиболее сложным элементом УСЧ (не считая самого ЭМП) является широкополосный фазовращатель. Чем шире требуемый диапазон частот и чем выше задаваемая точность обеспечения фазового сдвига, тем сложнее схема фазовращателя. Методика расчета широкополосных фазовращателей изложена в соответствующей литературе.

К достоинствам емкостных ЭМП следует отнести конструктивную простоту. Такого рода преобразователи можно изготовить собственными силами. Недостатком емкостных ЭМП является малый коэффициент передачи напряжения на звуковых частотах ввиду малых значений секционных емкостей. Однако имеющиеся в настоящее время диэлектрики с большим значением диэлектрической проницаемости (тысячи и даже десятки тысяч единиц) сулят большие возможности по самостоятельному изготовлению бесконтактных ЭМП с приемлемым значением секционных емкостей. Не следует также забывать и о таком важном общем преимуществе ЭМП — их обратимости. В инверсном варианте построения устройства входной сигнал повышенного напряжения, например десятки вольт, подается на роторную пластину. Далее фазорасщепленные сигналы с выходов неподвижных пластин обрабатываются широкополосным фазовращателем 90° и инверторами и сводятся в общую нагрузку. Очевидно, что с позиций получения частотного сдвига устройства аналогичны. Вопрос коэффициента передачи здесь снимается за счет одного повышенного напряжения питания роторной пластины, обеспечить которое нетрудно. Таким образом, существует поле деятельности для радиолюбителей по самостоятельной разработке и конструированию УСЧ с применением емкостных ЭМП.

Рассмотрим несколько конкретных вариантов построения УСЧ с применением индукционных преобразо-

вателей — вращающихся трансформаторов, индукционных фазовращателей и сельсинов. Наиболее простым является устройство с применением вращающихся трансформаторов, называемых также СКВТ (синусно-косинусный вращающийся трансформатор) и индукционных фазовращателей. Вращающиеся трансформаторы предназначены для получения выходного напряжения, зависящего от синуса (или косинуса) угла поворота ротора, а фазовращатели — для линейного изменения фазы питающего их напряжения. Вращающиеся трансформаторы, а также индукционные фазовращатели представляют собой индукционные ЭМП, содержащие две или четыре неподвижные (статорные) обмотки, сдвинутые относительно друг друга на 90°, и одну либо две роторные обмотки, в последнем случае также сдвинутые на 90°. Принцип работы устройства в целом аналогичен описанному выше для емкостных преобразователей и мы на нем останавливаться не будем. Некоторым отличием функционального построения является то, что для питания вращающегося трансформатора требуются лишь два напряжения, сдвинутых на 90°.

Принципиальная схема УСЧ с использованием вращающегося трансформатора показана на рис. 3.

Основные технические характеристики

Максимальное входное напряжение, В	0,7
Максимальное выходное напряжение, В	2,9
Полоса частот по уровню 0,7, Гц	50...10 000
Коэффициент гармоник, %	не более 1,0
Потребляемый ток, мА	29

На транзисторе *VT1* собран предварительный усилитель напряжения. Конденсатор *C2* ограничивает по уровню 0,7 диапазон верхних частот, а переходные конденсаторы *C1*, *C3* не пропускают в тракт частоты ниже 50 Гц. Фазоинвертор с разделенной нагрузкой на транзисторе *VT2* обеспечивает питание фазовращателя двумя одинаковыми по амплитуде, но противофазными напряжениями, что требуется по принципу работы фазовращателя. Сам фазовращатель собран на элементах *R9—R17*, *C4—C11*. На выходе фазовращателя, т. е. на его нагрузочных элементах *R12*, *C6* и *R17*, *C11* получаются два напряжения, сдвинутые на 90° в указанном диапазоне частот с погрешностью не более 3°. Поскольку коэффи-

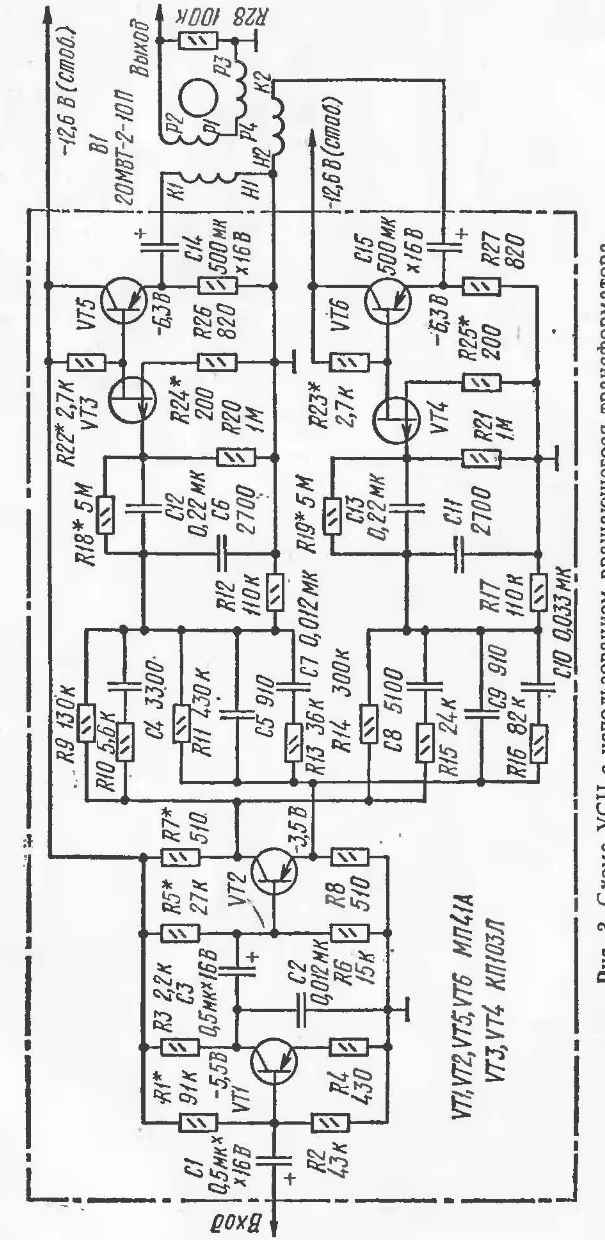


Рис. 3. Схема УСЧ с использованием вращающегося трансформатора

циент передачи фазовращателя меньше единицы (по напряжению 0,4), а его выходные цепи высокоомны, к этим цепям подключены согласующие усилители с высокоомными входами. Усилители выполнены на полевых транзисторах *VT3, VT4*. Резисторы *R18, R19* применены для установки оптимальных режимов транзисторов *VT3, VT4*. При этом используются небольшие падения напряжений на нагрузочных резисторах *R12* и *R17*, передаваемые из эмиттерной и коллекторной цепей транзистора *VT2*. Выходные эмиттерные повторители на транзисторах *VT5, VT6* подключены к усилительным каскадам гальванически — без переходных цепей. К выходам эмиттерных повторителей подключены статорные обмотки вращающегося трансформатора *B1*. Для увеличения коэффициента передачи устройства две роторные обмотки вращающегося трансформатора включены последовательно. Выходное напряжение можно снимать и с одной роторной обмотки, но амплитуда его в этом случае будет в $\sqrt{2}$ раза меньше. Резистор *R28*, шунтирующий роторные обмотки, необходим для демпфирования — устранения резонанса роторной обмотки на высоких частотах. Вращение ротора вращающегося трансформатора может осуществляться с помощью любого приводного механизма, содержащего маломощный электродвигатель (на схеме рис. 3 не показан) и, в простейшем случае, пассиковую передачу движения.

В устройстве применяются обычные малогабаритные радиодетали. Особое внимание следует обратить на подбор номиналов элементов фазовращателя, они не должны отличаться от указанных в табл. 1 более чем на ±1 %. Резисторы *R20* и *R21* должны быть с допуском не хуже ±5 %. Конденсаторы должны иметь минимально возможный ТКЕ (емкости даны в пФ).

Транзисторы *VT3, VT4* и *VT5, VT6* желательно подобрать с близкими параметрами. В качестве ЭМП может быть использован любой низкочастотный индукционный фазовращатель или низкочастотный вращающийся

Таблица 1

R9	R10	R11	R12, R17	R13	R14	R15
139 кОм	5,6 кОм	438 кОм	110 кОм	36 кОм	298 кОм	23,8 кОм

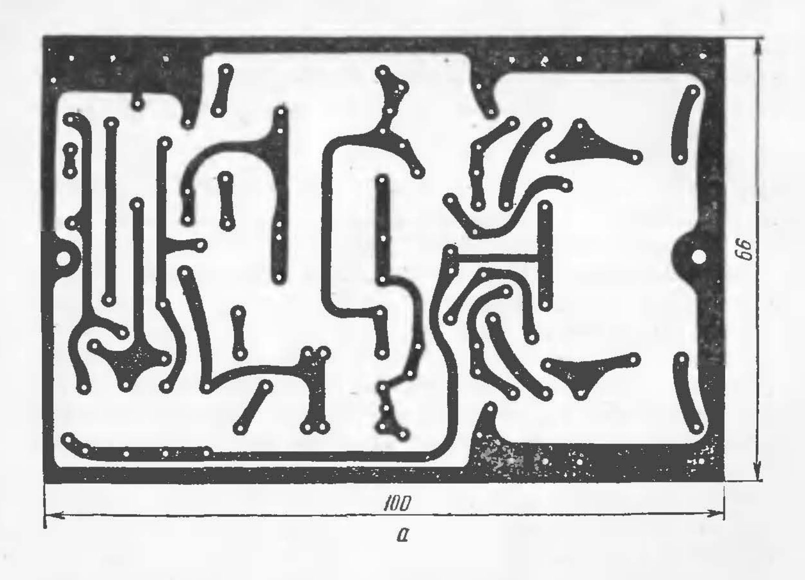
Продолжение табл. 1

R16	C4	C5, C9	C6, C11	C7	C8	C10
78,6 кОм	3446	909	2705	11 370	5180	33 100

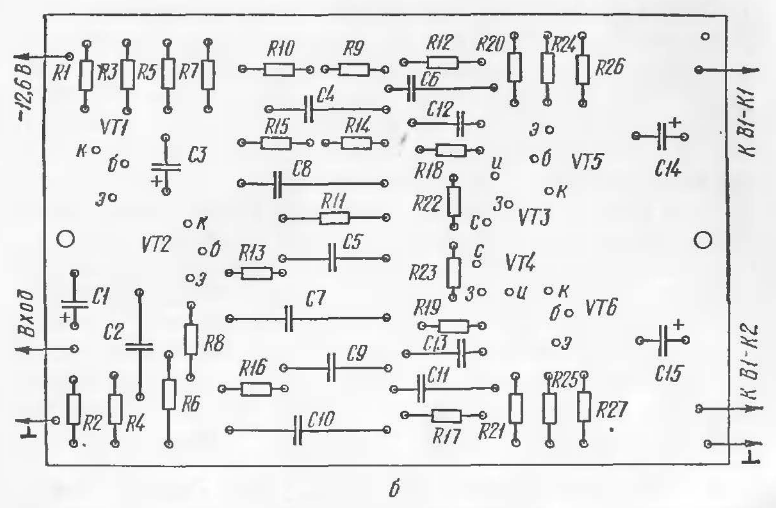
трансформатор с импедансами статорных обмоток на частоте 50 Гц не менее 150 Ом. В случае использования более высокочастотных ЭМП с меньшим импедансом обмоток либо использования некоторых типов бесконтактных ЭМП с изменяющимся в зависимости от положения ротора импедансом статорных обмоток следует применять составные более мощные эмиттерные повторители; возможно также существенное уменьшение амплитуды обрабатываемого сигнала. Хороший эффект может дать применение согласующих трансформаторов. Номиналы емкости переходных конденсаторов в этих случаях следует значительно увеличить. В качестве электродвигателя может быть взят любой имеющийся в распоряжении радиолюбителя двигатель, желательно малогабаритный с небольшим уровнем шума, например БДС-02 или ЭДГ.

Монтаж устройства выполнен на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита размерами 66×100 мм (рис. 4). Поскольку элементы фазовращателя могут быть составными, отверстия в плате для их монтажа следует делать большего диаметра. Конструкция приводного механизма может быть самой разнообразной — в зависимости от имеющихся в распоряжении радиолюбителя деталей. В простейшем случае — это электродвигатель с пассиковой передачей движения на ЭМП. Конструкция определяется также и областью применения устройства, как это мы увидим ниже. Корпус ЭМП следует соединить с общим проводом схемы. В случае применения ЭМП, не имеющих магнитной экранировки, возможны наводки (в виде фона) по магнитному полю со стороны двигателя. В этих случаях следует применить магнитную экранировку ЭМП, например поместив ЭМП в отрезок стальной трубы с толщиной стенок не менее 1 мм.

Налаживание устройства следует начать с подбора режимов транзисторов, обеспечивающих минималь-



а



б

Рис. 4. Плата УСЧ с использованием вращающегося трансформатора

ные нелинейные искажения, что особенно важно при работе устройства с высококачественной аппаратурой, например с аппаратурой синтетического унисона, псевдостереофонии и др. Каскады *VT1, VT2* должны обеспечивать линейную передачу сигнала до амплитуд на эмиттере и коллекторе транзистора *VT2* не менее 2,5 В. После этого по вольтметру либо по осциллографу, подбором сопротивления резистора *R7* следует тщательно установить равенство амплитуд сигналов на эмиттере и коллекторе транзистора *VT2*. Далее при одинаковых сигналах на затворах транзисторов *VT3* и *VT4* подбором сопротивлений резисторов *R22, R23*, а в некоторых случаях *R24, R25* следует добиться одинаковых амплитуд сигналов на стоках этих транзисторов и в конечном итоге на статорных обмотках вращающегося трансформатора. Это удобнее всего сделать, подав через конденсаторы большой емкости — не менее 1 мкФ — одновременно на затворы транзисторов синусоидальный сигнал с низкоомного выхода звукового генератора. Сигналы на статорных обмотках вращающегося трансформатора должны быть одинаковы по амплитуде и не должны иметь заметных нелинейных искажений до амплитуды 2...2,2 В на частоте 50 Гц. Контроль искажений лучше всего производить по индикатору нелинейных искажений, например ИНИ-11. Режимы транзисторов *VT3, VT4* по минимуму нелинейных искажений подбираются резисторами *R18, R19*, затем *R22, R23* (резисторы *R18, R19* могут и отсутствовать). Основополагающим при этом является минимизация нелинейных искажений каскадов и равенство амплитуд их выходных сигналов, но не величины их коэффициентов усилений. В некоторых случаях возможна замена транзисторов *VT3, VT4*.

Заключительным этапом регулировки является проверка и минимизация величины паразитной амплитудной модуляции выходного сигнала в частотном диапазоне. Для этого со звукового генератора на вход устройства подается синусоидальный сигнал такой величины, чтобы по выходу устройства он составлял 30... 50 % от максимального значения. Включив двигатель и изменяя частоту генератора, по осциллографу наблюдают модуляцию выходного сигнала с удвоенной частотой вращения ротора ЭМП. Изменения амплитуды в любых точках частотного диапазона не должны превышать 5 % в обе стороны от среднего уровня сигнала.

В противном случае следует несколько изменить номиналы резисторов — в первую очередь *R7*, а затем *R22* (либо *R23*) и снова проверить коэффициент модуляции в частотном диапазоне. Это удобно проводить в динамике — при включенном двигателе, временно заменив указанные постоянные резисторы переменными. Не следует забывать и о технологических погрешностях самого ЭМП. В некоторых случаях для уменьшения модуляции полезно несколько изменить номиналы резисторов *R12* (либо *R17*). Операцию проверки паразитной модуляции можно проводить и по слуху. Во всех случаях слуховой контроль является весьма полезным. Такая модуляция субъективно воспринимается как тремоло либо дрожание звука, например с частотой 10...14 Гц, если частота вращения ротора, а следовательно, и частотный сдвиг составляют 5...7 Гц. В случае излишка выходного напряжения (не требующегося для работы остальной части схемы) не следует существенно понижать входное напряжение, так как это может привести к уменьшению динамического диапазона за счет возрастания относительного уровня помех, например наводок по магнитному полю на ЭМП со стороны двигателя. В этом случае целесообразно постоянный резистор *R28* заменить на переменный того же номинала либо включить два резистора, образующих требуемый делитель напряжения.

Рассмотрим теперь устройства сдвига частоты с применением сельсинов. Сельсины представляют собой индукционные ЭМП с тремя статорными обмотками, сдвинутыми относительно друг друга на 120°, и роторной обмоткой. Они подразделяются на сельсины-датчики и сельсины-приемники и предназначены в автоматике и телемеханике для автоматической передачи угловых величин. Такое подразделение, преследующее лишь некоторые параметрические конструктивные или чисто функциональные отличия, для нашего рассмотрения не имеет значения.

Принципиальная схема УСЧ с применением сельсина показана на рис. 5.

Основные технические характеристики

Максимальное входное напряжение, В	0,38
Максимальное выходное напряжение, В	5,0
Полоса частот по уровню 0,7, Гц	200...6800
Коэффициент гармоник, %	не более 1,0
Потребляемый ток, мА	38

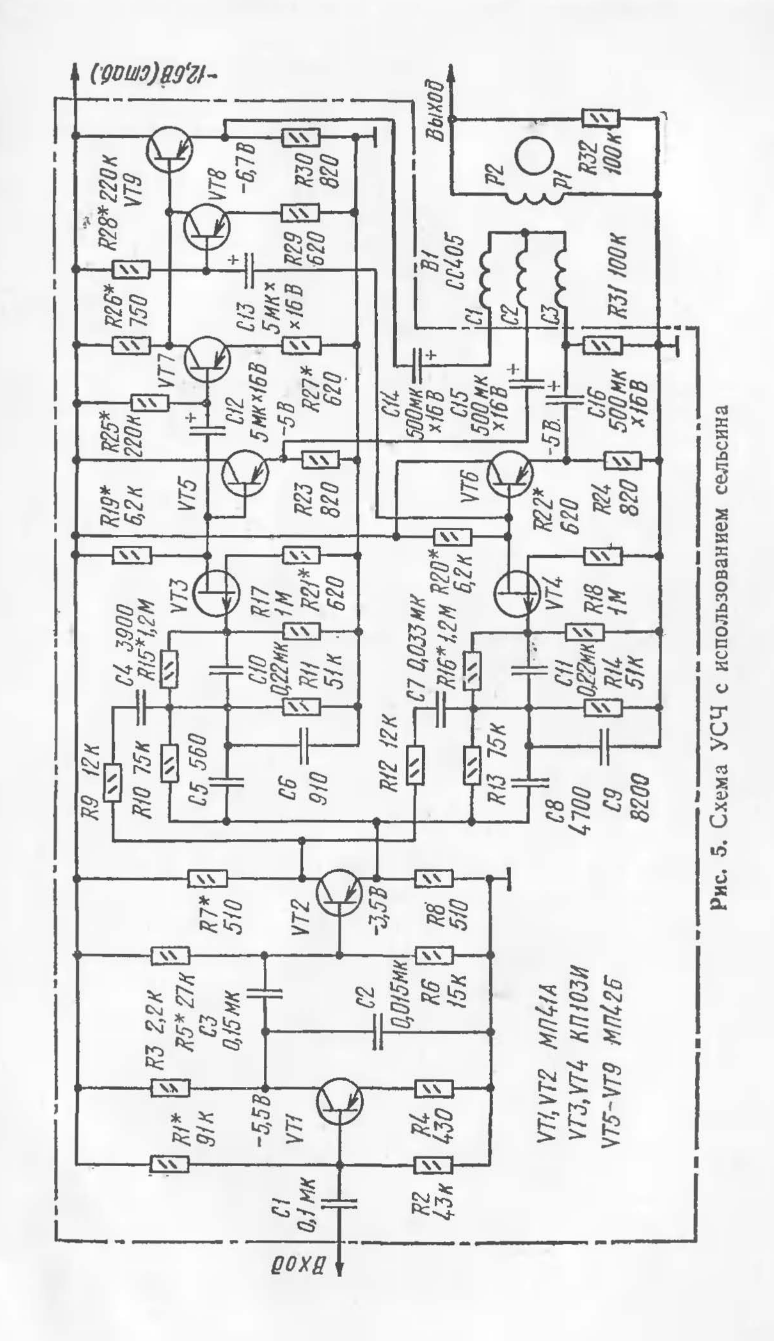


Рис. 5. Схема УСЧ с использованием сельсина

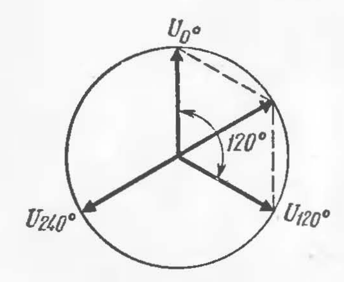


Рис. 6. Векторная диаграмма

Предварительный усилитель и фазоинвертор, за исключением номиналов шунтирующего и переходных конденсаторов, аналогичны описанным выше. Фазовращатель на элементах *R9—R14*, *C4—C9* в указанном диапазоне частот обеспечивает сдвиг фаз 120° с точностью около 3°. Резисторы *R15* и *R16* (могут и отсутствовать) служат, как и в предыдущем случае, для установки оптимальных режимов согласующих каскадов на транзисторах *VT3, VT4*. Усиленные и сдвинутые на 120° сигналы с выходов согласующих каскадов через эмиттерные повторители на транзисторах *VT5* и *VT6* подаются на статорные обмотки *C2* и *C3* сельсина *B1*. Для получения третьего напряжения питания сельсина со сдвигом фазы 240° применяется схема сложения двух напряжений, сдвинутых на 120° с поворотом фазы суммарного напряжения на 180°. Принцип получения напряжения со сдвигом фазы 240° иллюстрируется векторной диаграммой, приведенной на рис. 6. Каскады суммирования на транзисторах *VT7, VT8* имеют общую коллекторную нагрузку — резистор *R26*, на котором и выделяется напряжение со сдвигом фазы 240°. Это напряжение через эмиттерный повторитель на транзисторе *VT9* подается на третью статорную обмотку сельсина. Резистор *R31* не является принципиальным с точки зрения работы устройства. Он служит для установления нулевого потенциала относительно общего провода на положительных обкладках оксидных конденсаторов *C14—C16*. Резистор *R32* служит для уменьшения резонанса на высоких частотах роторной обмотки сельсина, а также может быть использован как делитель выходного напряжения. Вращение ротора сельсина осуществляется с помощью электродвигателя ЭДГ-1 (на схеме рис. 5 не показан) и пассиковой передачи движения.

В устройстве применены малогабаритные радиодетали, номиналы которых не должны отличаться от указанных в табл. 2 более чем на ±1 %, а резисторы *R17*,

R18 имеют допуск не хуже ±5 %. Конденсаторы фазовращателя должны иметь минимально возможные ТКЕ (емкости даны в пФ).

Таблица 2

R9, R12	R10, R13	R11, R14	C4	C5	C6	C7	C8	C9
11,46 кОм	74,75 кОм	49,2 кОм	3792	582	924	31520	4840	7680

Для уменьшения межканальных связей транзисторы *VT5—VT9* следует применять с большим статическим коэффициентом передачи тока 80...100. В качестве сельсина может быть взят любой низкочастотный сельсин-датчик либо сельсин-приемник с импедансом статорных обмоток на частоте 200 Гц не менее 400 Ом. Если применить сельсин с сильно зависимым импедансом статорных обмоток от угла поворота ротора, следует применить составные эмиттерные повторители с более мощными выходами. Все рекомендации, данные выше в части согласования эмиттерных повторителей с нагрузкой, конструкции приводного механизма, мерах устранения наводок, полностью справедливы и для рассматриваемого случая.

Устройство смонтировано на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита размерами 66×120 мм (рис. 7).

Налаживание устройства начинают с подбора режимов транзисторов. Процедура первого этапа регулировки, включающая в себя проверку и устранение нелинейных искажений и установку равенства сигналов на выходах эмиттерных повторителей *VT5, VT6*, аналогична описанной выше. Низшей частотой при этом является 200 Гц. Режимы работы транзисторов *VT3, VT4* подбираются в первую очередь резисторами *R15, R16*, затем резисторами *R19—R22*. После этого настраивают суммарно-инверторные каскады. Подавая поочередно одинаковые сигналы на затворы транзисторов *VT3, VT4* и контролируя сигнал на выходе эмиттерного повторителя на транзисторе *VT9* подбором сопротивления резистора *R27*, следует добиться одинаковых коэффициентов передачи трактов. Затем подбором сопротивления резистора *R26* достигают того, чтобы сигнал с выхода

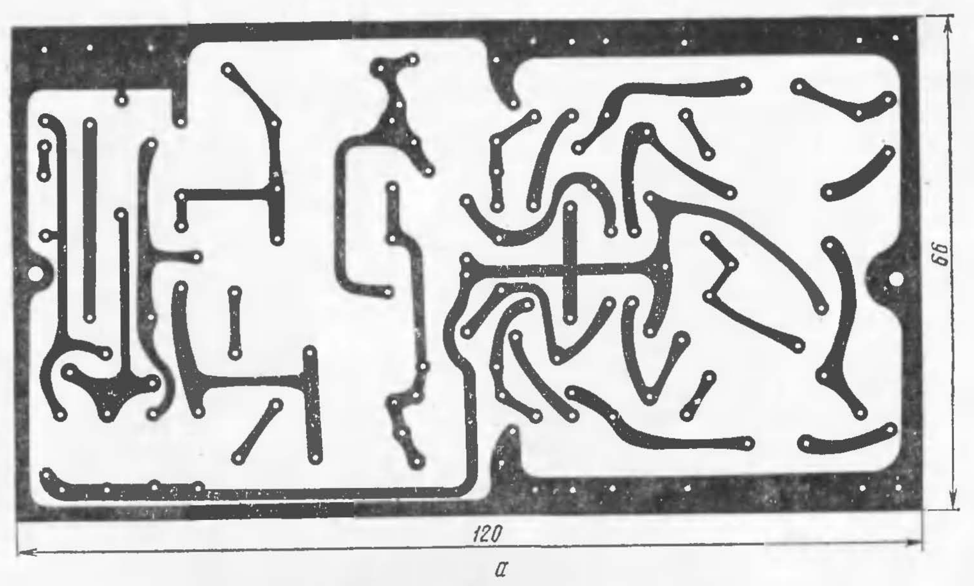


Рис. 7, а. Печатный монтаж платы УСЧ

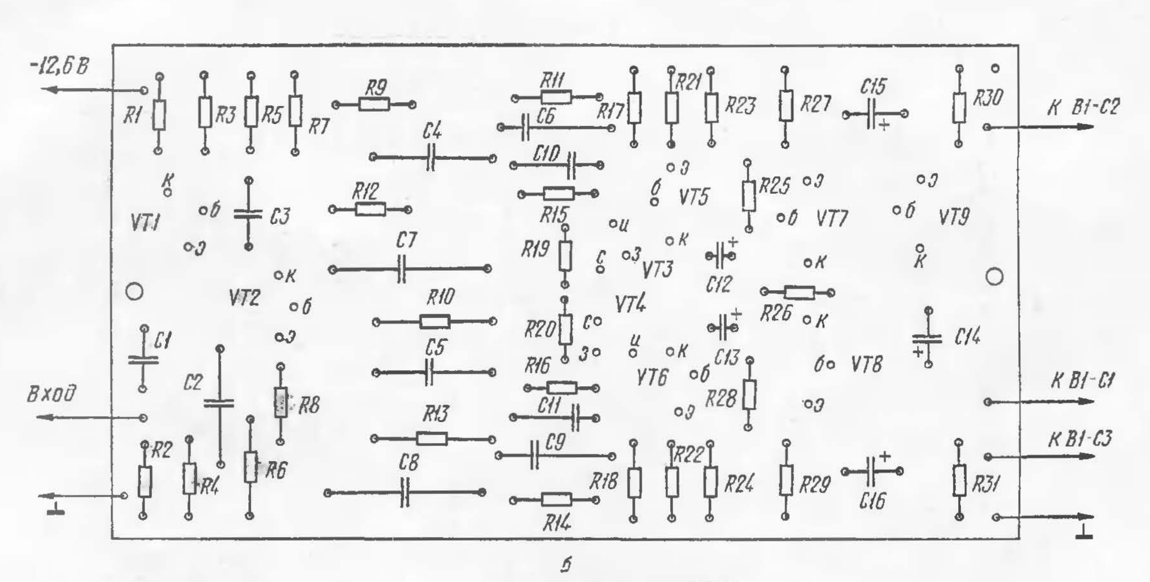


Рис. 7, б. Расположение элементов на плате УСЧ

эмиттерного повторителя на транзисторе *VT9*, т. е. на обмотке сельсина *C1*, был равен сигналам на обмотках *C2* и *C3*. Очевидно, что инвертированная сумма двух равных синусоидальных напряжений, сдвинутых на угол 120°, равна третьему напряжению той же амплитуды, но сдвинутому по отношению к первым двум на угол 120° (см. рис. 6).

Операция минимизации паразитной амплитудной модуляции в частотном диапазоне производится по методике, описанной выше. Возможным небольшим изменениям подлежат резисторы — в первую очередь *R7*, затем *R19*, *R26*, в некоторых случаях резистор *R11* (либо *R14*). На граничных частотах диапазона возможен несколько повышенный процент модуляции (5...6 %). В случае излишка выходного напряжения постоянный резистор *R32* следует заменить на переменный того же номинала либо применить делитель напряжения.

Ознакомившись с принципом работы и конкретными вариантами УСЧ, рассмотрим теперь области их применения и некоторые особенности, которыми должны обладать эти устройства.

Начнем с унисонных явлений в электронной музыке. Как известно, унисон является мощным средством расширения тембровых, а следовательно, и художественных возможностей ЭМИ и ЭМС. Сюда относится широкая гамма синтетических унисонов — от компактных унисонов фортепианного типа до унисонного вибрато. Компактные унисоны характеризуются очень малым сдвигом по высоте звуков, входящих в его комплекс. Так, в фортепиано звуковысотный сдвиг хора составляет десятые доли цента, что составляет сдвиг по частоте, например для ноты «ля» малой октавы (частота основного тона 220 Гц), 0,4...1 Гц. Такие медленные изменения фазовых соотношений в значительной степени и определяют певучесть фортепиано, когда спустя некоторое время после звуковой вспышки, в результате возбуждения струнного хора молоточком происходит усиление звука в результате синфазного сложения звуковых колебаний струн, входящих в хоровой комплекс. В музыкальном диапазоне звуковысотный сдвиг практически постоянен. Частотный же сдвиг, наоборот, непостоянен: по мере повышения высоты основного тона частотный сдвиг повышается. Все устройства сдвига частот, в том числе и только что описанные, дают постоянный сдвиг частоты

в музыкальном диапазоне, определяемый в нашем случае числом оборотов ротора ЭМП в секунду. Это обстоятельство следует всегда четко представлять во избежание ошибок при конструировании, например переоценки роли простых (одноканальных) УСЧ при проектировании новой качественной аппаратуры для имитации широкодиапазонных унисонов. Так, для имитации фортепианных унисонов, например в электрофортепиано, следует применять несколько УСЧ, обслуживающих соответствующие поддиапазоны, со ступенчатым повышением частотного сдвига по мере повышения номера поддиапазона. Число каналов УСЧ может определяться лишь числом ЭМП (с соответствующими редукторами и согласующими эмиттерными повторителями); широкополосный фазовращатель и электродвигатель могут быть теми же самыми.

Рассмотрим унисонное вибрато. В наиболее полной степени этот эффект реализуется путем разнесения в пространстве двух источников звука, смещенных по частоте основного тона на 5...7 Гц, а в некоторых случаях и менее этого, т. е. на частоту вибрато. При одновременном звучании и примерно одинаковых амплитудах звуковых колебаний сигналов в месте, в котором находится слушатель, возникает исключительно красивое глубокое пространственное вибрато. В простейшем случае эффект пространственного вибрато легко достигается с помощью одного УСЧ — воспроизводится исходный сигнал и сигнал с частотным сдвигом с выхода УСЧ. Однако в этом случае следует учитывать возможность нарушения гармонии музыкального строя, проявляющегося тем сильнее, чем ниже частота тонов, что в некоторых случаях, в частности в ансамблевом применении, может оказаться недопустимым. Например, исходный сигнал, соответствующий ноте «фа» большой октавы, прошедший УСЧ и получивший отрицательный сдвиг частоты около 5 Гц, будет звучать уже в тоне «ми» той же октавы, т. е. со сдвигом по высоте на 100 центов ниже исходного сигнала. А для исходной ноты «фа» контроктавы такой сдвиг по высоте уже будет составлять 200 центов! Эффект вибрато при этом полностью сохраняется. Такое вибрато будем называть смещенным. Для получения несмещенного унисонного вибрато следует применить два УСЧ с противоположными частотными сдвигами. Так, для получения вибрато частотой 6 Гц одно УСЧ должно

обеспечить частотный сдвиг —3 Гц, другое +3 Гц относительно частоты исходного сигнала. Воспроизведению подлежат лишь сигналы с выходов УСЧ. Эффект несмещенного унисонного вибрато будет сохраняться в более широком диапазоне звуковых частот. Напомним, что в аппаратурном комплекте в этом случае должны быть два ЭМП (с соответствующими согласующими каскадами), приводнмые в движение от одного электродвигателя и пассиковой передачи, обеспечивающей синхронное вращение роторов с частотой 3 об/с. Противоположность частотных сдвигов осуществляется либо противофазностью направлений вращения роторов ЭМП, либо перекоммутацией фазировки питания их статорных обмоток, о чем подробно говорилось выше.

При одновременном воспроизведении и третьего — исходного — сигнала получится новый, более обогащенный вид синтетического унисона. Не следует забывать, что УСЧ универсальны. Они могут быть использованы как с ЭМИ (в том числе и адаптеризованными), так и с обычными музыкальными инструментами (путем подключения микрофона).

Общей рекомендацией в большинстве случаев применения УСЧ для формирования унисонов является желательность некоторых флюктуаций частотного сдвига — непостоянство его во времени в пределах рассматриваемого класса унисона. В унисонном вибрато, например, нестабильность частотного сдвига в пределах 5...7 Гц, как показывает практика, более предпочтительна, чем строго фиксированный частотный сдвиг. Это желательно учитывать при выборе конструкции или при разработке приводного механизма. Следует заметить, что введение элемента случайности частотного сдвига в УСЧ не является слишком уж простой задачей как в техническом, так и в художественно-эстетическом плане.

Остановимся на требованиях к частотной характеристике трактов. Сами по себе УСЧ широкополосны. Как показывает практика, даже УСЧ на низкочастотных ЭМП широкополосны вплоть до ультразвуковых частот. Однако за пределами рабочего диапазона широкополосного фазовращателя будет иметь место сильная амплитудная модуляция. Как правило, эта модуляция происходит с удвоенной частотой вращения ротора ЭМП и во многих случаях при формировании унисонов, например унисонного вибрато, является нежелательной. Для борьбы с этим явлением УСЧ следует по возможности использовать в трактах с ограниченным частотным диапазоном либо ограничивать диапазон как по нижним, так и по верхним частотам с помощью RC-цепей, а также с помощью регулировки тембров УНЧ. Если широкополосный фазовращатель имеет запас по частотному диапазону, частоту среза ограничивающих RC-цепей следует выбирать в его диапазоне. Напомним, что селективность RC-цепей полностью реализуется только при их полной электрической развязке усилительными либо согласующими каскадами. Так, одна RC-цепь обеспечивает за частотой среза крутизну частотного спада 6 дБ на октаву, две независимые цепи — 12 дБ на октаву, три цепи — 18 дБ на октаву и т. д.

При частотном сдвиге более 7...8 Гц мы уже выходим из области унисонных явлений, а при сдвиге на бóльший интервал (десятки герц) возможно получение оригинальных звуковых эффектов. Негармоничность спектрального состава звуковых колебаний в слуховом аспекте здесь проявляется в полной мере. Такой режим работы дает хороший эффект для имитации ударных инструментов.

Рассмотрим еще одну интересную область применения УСЧ в электроакустике — подавление акустической обратной связи в системах звукоусиления. При озвучивании помещений при работе с микрофоном использование сдвига частот позволяет повысить усиление тракта, сохраняя заданную устойчивость работы системы, либо повысить устойчивость системы при том же усилении. Так, при оптимальном частотном сдвиге 5 Гц удается получить выигрыш в неискаженном усилении +3 дБ, допуская небольшие искажения до +6...7 дБ, а в некоторых случаях и более этого, по сравнению с обычными методами звукоусиления. Частотный сдвиг рабочего спектра звуковых частот на 5 Гц не приводит к ухудшению качества звучания речи и практически пригоден для звукоусиления многих видов музыки и голосов певцов (на возможном нарушении гармонии музыкального строя мы останавливались выше). В тракт звукоусиления УСЧ включается последовательно после микрофонного усилителя перед входом усилителя мощности.

Физическая интерпретация подавления акустической обратной связи, а следовательно, и повышения индекса усиления, непроста. Вкратце сущность данного явления заключается в следующем. Известно, что статическая

частотная характеристика зала (снимается при медленных изменениях частоты непрерывного синусоидального сигнала постоянной интенсивности) изобилует в пределах звукового диапазона огромным числом (до нескольких тысяч) пиков и провалов, обусловленных интерференцией реверберирующих частотных компонент. В случае попадания микрофона в пик акустического поля и отсутствия запаса устойчивости система возбуждается. Проявляется это в виде знакомых каждому неприятного воя или пронзительного свиста, частично или полностью парализующих процесс звукоусиления. При воспроизведении же через громкоговоритель сдвинутой полосы частот в течение определенного отрезка звучания будет наблюдаться определенный уход интерференционного пика из точки, в которой мог оказаться микрофон. Устойчивость работы системы повышается.

Первым требованием к УСЧ в системе звукоусиления является обеспечение нужной минимальной полосы частот. Без необходимости не следует предусматривать большие запасы полосы, особенно в сторону низких частот, так как это, с одной стороны, уменьшает ресурсы широкополосного фазовращателя и неоправданно усложняет его схему, с другой стороны, может привести к увеличению низкочастотных помех, в частности модулированного фона частотой 50 или 100 Гц, и уменьшению динамического диапазона. Например, для усиления речи не следует расширять диапазон частот ниже 150...200 Гц. По высоким частотам для художественного звукоусиления речи диапазон частот должен быть не менее 6 кГц. Для этих целей может быть рекомендовано УСЧ, принципиальная схема которого изображена на рис. 5.

Другим требованием является необходимость обеспечения непрослушиваемого уровня паразитной амплитудной модуляции с удвоенной частотой частотного сдвига. Такая модуляция наиболее заметна на продолжительных мелодично напевных элементах речи, содержащих гласные буквы, и воспринимается как дрожание звуков, искажающих тембр голоса. Поскольку в системе озвучивания воспроизведению подлежит только один сигнал — с выхода УСЧ (в отличие от вышерассмотренного случая применения УСЧ, где чаще всего воспроизводятся как сигнал с УСЧ, так и исходный сигнал с равными амплитудами), требования к минимизации амплитудной модуляции повышаются. Следует обратить внимание на

тщательность настройки устройства и на точность примененных широкополосных фазовращателей. Его данные в схемных обозначениях рис. 3 приведены в табл. 3. Элементы фазовращателя должны быть подобраны с точностью не хуже ±1 %. Данный фазовращатель обеспечивает сдвиг фаз 90° в диапазоне частот 0,2...10 кГц с точностью не хуже 1° и может быть использован в схеме рис. 3 без изменения ее остальных элементов, за возможным исключением элементов переходных и шунтирующих *RC*-цепей. В случае звукоусиления сигналов с полосой частот, большей, чем у фазовращателя, следует предусмотреть подавление граничных частот с помощью *RC*-цепей, а также с помощью регулировки тембров УНЧ.

Таблица 3

R9	R10	R11	R12, R17	R13	R14	R15
297 кОм	13,9 кОм	1,1 Мом	110 кОм	76,5 кОм	480 кОм	50,3 кОм

Продолжение табл. 3

R16	C4	C5, C9	C6, C11	C7	C8	C10
138 кОм	883	254,5	1208	2432	1351	7432

Остановимся на применении УСЧ в области стереофонии и квадрафонии. Известно, что псевдостереоэффект получается при одновременном воспроизведении двумя разнесенными в пространстве акустическими системами звуковых сигналов, фазы которых сдвинуты относительно друг друга на оптимальную величину 90° (либо 270°) в достаточно широкой полосе частот. Звук приобретает «объемность», как при воспроизведении стереофонической записи. При воспроизведении оркестровых записей создается субъективное впечатление, что отдельные инструменты оркестра расположены в разных точках пространства между акустическими системами. Разумеется, расположение источников звуков не будет соответствовать реальному, как при стереофонии, а определяется

3 4–2993

положением слушателя, частотой и характеристиками фазовращателя.

Широкополосный фазовращатель 90° систем УСЧ, построенных на ЭМП типа вращающихся трансформаторов и индукционных фазовращателей, полностью пригоден для обработки монофонической информации для получения псевдостереоэффекта. Так, устройство, показанное на рис. 3, может быть использовано как полностью готовая приставка для получения псевдостереоэффекта. Сигналы с выходов эмиттерных повторителей *VT5, VT6* подаются непосредственно на усилители разнесенных акустических систем. ЭМП и приводной двигатель при этом не используются, хотя могут и не отключаться от схемы. Напомним, что в случае общего недостатка диапазона частот он может быть расширен, например в сторону высоких частот, уменьшением емкости конденсатора *C2*.

Литература

Авраменко В. Л., Галямичев Ю. П., Ланиэ А. А. Электрические линии задержки и фазовращатели: Справочник.— М.: Связь, 1973.

Дрейзен И. Г. Системы электронного управления акустикой залов и радиовещательных студий.— М.: Связь, 1967.

Королев Л. Д. Двухточечный унисон.— Радио, 1970, № 12.

Королев Л. Д., Воронцов В. П. Устройство сдвига частот для подавления акустической обратной связи.— Техника кино и телевидения, 1972, № 4.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ПУЛЬСА

В. Ефремов, М. Нисневич

Стремясь избежать последствий гиподинамии, все больше людей пополняют клубы любителей бега. Для самоконтроля пульса, необходимого непосредственно до и после выполнения упражнений, будет полезен небольшой цифровой прибор, к датчику которого достаточно приложить палец и через 12 с светодиодное табло покажет результат.

Питание прибора осуществляется от 3 батарей «Крона-ВЦ», энергии которых хватает для работы в

Техническая характеристика

Диапазон измерений, удар/мин	40...199
Максимальная погрешность измерения, удар/мин	±5
Время измерения, с	12
Габариты, мм	147×57×50
Масса, г	300
Напряжение источников питания, В	18 и 9
Ток, потребляемый от источника питания с напряжением 18 В, мА	18
Диапазон рабочих температур, °С	—10...+40

течение 4 месяцев при 25 ежедневных замерах пульса. За интервал времени, равный 12 с, подсчитывается число ударов сердца, затем это число умножается на 5 и результат появляется на светодиодных индикаторах. Результат не всегда получается кратным 5, так как хотя каждый импульс, соответствующий удару сердца, заменяется 5 импульсами, которые заносятся в счетчики, но при отсутствии жесткой синхронизации такой способ подсчета импульсов обеспечивает выдачу на индикаторы практически всех чисел от 40 до 199.

Функциональная схема измерителя пульса представлена на рис. 1. Сигнал, излучаемый ИК-светодиодом, отражается от пальца и улавливается фотодиодом датчика, который подключен ко входу усилителя *A1*. Далее, пройдя через фильтр низких частот, сигнал поступает на второй усилительный каскад *A2*, на выходе которого его амплитуда достигает значения, достаточного для работы схемы формирователя *D1*. Последний представляет собой триггер Шмитта и вырабатывает импульсы, соответствующие ударам пульса, которые, пройдя через дифференцирующую цепь *R1C1*, запускают ждущий одновибратор *D2*. Одновибратор *D2* выполняет две функции: блокирует триггер *D1* и запускает схему цифрового пересчета. Блокирование триггера *D1* делает считывание сигналов пульса более надежным, так как после прохождения импульса в течение следующих 200 мс триггер Шмитта не реагирует на другие входные сигналы. Кроме того, выходной импульс одновибратора *D2* в режиме «Счет» через схему совпадений *D3* запускает два ждущих одновибратора *D4* и *D5*. Одновибратор *D4* задает время измерения пульса, а другой одновибратор *D5* вырабатывает сигналы, осуществляющие пересчет. В результате подачи сигналов одновибратора *D5* и генера-

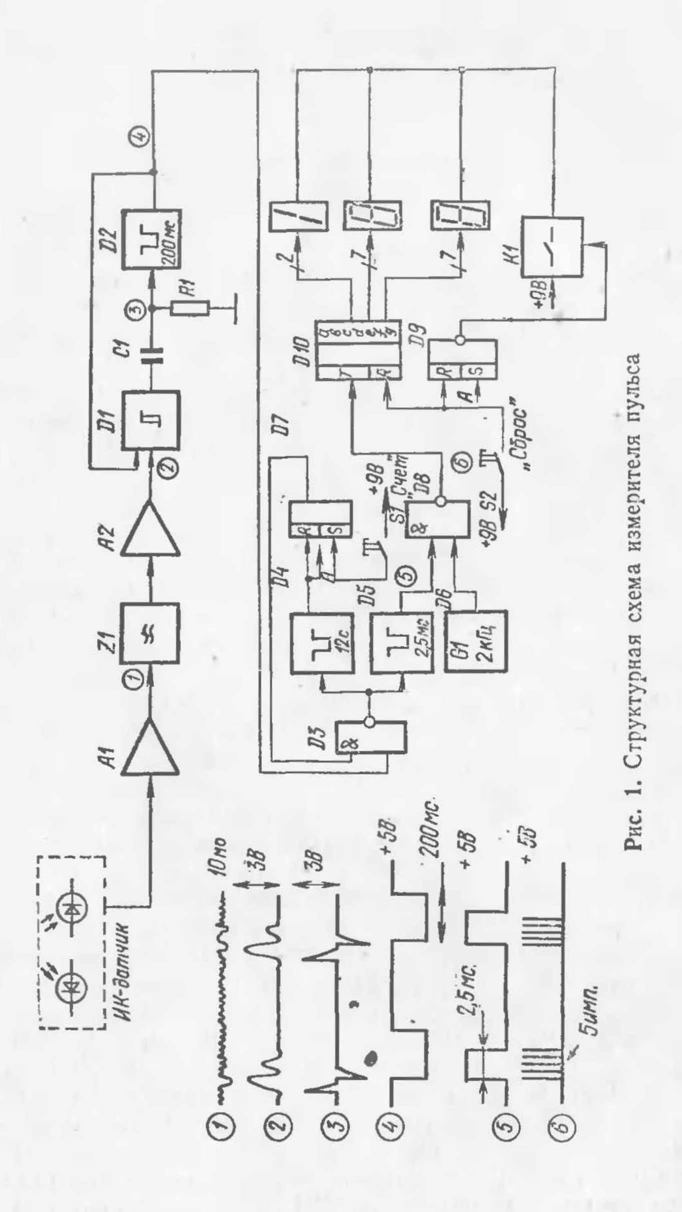


Рис. 1. Структурная схема измерителя пульса

тора *G1* на вход схемы совпадения *D8*, на ее выходе формируются пачки импульсов, каждая из которых состоит из 5 импульсов. Таким образом осуществляется умножение на 5. Эти пачки импульсов поступают на вход счетчика *D10* и по окончании времени измерения, определяемого одновибратором *D4*, на счетчике фиксируется число, равное количеству ударов пульса в минуту. По окончании счета триггер *D7* сбрасывается в нулевое состояние и запрещает прохождение импульсов через *D3*. Одновременно с помощью триггера *D9* открывается ключ *K1* и загорается светодиодное табло. Чтобы начать новый цикл измерения пульса, надо снова нажать кнопку «Сброс» — тем самым гасятся светодиодные индикаторы и очищается счетчик *D10*, а затем нажать кнопку «Счет».

Принципиальная схема измерителя пульса изображена на рис. 2. ИК-датчик содержит излучающий светодиод *VD1* и приемный фотодиод *VD2*. Усилительная часть собрана на операционных усилителях (ОУ) К140УД6, имеющих низкое значение разности входных токов ($\Delta I_{вх} \leqslant 25$ нА) и небольшой ток потребления ($I_п \approx 1$ мА), что позволило создать экономичный прибор, работающий в широком диапазоне температур. Фотодиод *VD2* включен между инвертирующим и неинвертирующим входами первого ОУ, поэтому постоянное напряжение на нем не превышает нескольких мВ, что является особенностью первого каскада. Второй каскад усилителя имеет коэффициент усиления около 1000, а амплитуда полезного сигнала на его выходе достигает 3 В. Между первым и вторым каскадами включены разделительный конденсатор *C1* и *RC*-фильтр *(R8C2)*, снижающий фон с частотой 50 Гц. С этой же целью на выходе элемента *DA2* включен фильтр *R14C3*. Усилительная часть прибора заканчивается собранным на транзисторе *VT1* эмиттерным повторителем, который служит для согласования выхода ОУ и входа ТТЛ микросхемы *DD1* К136ЛА3. Четыре логических элемента этой микросхемы выполняют функции триггера Шмитта (*DD1.1* и *DD1.2*) и одновибратора (*DD1.3* и *DD1.4*). Триггер Шмитта по входу *2* блокируется импульсами одновибратора, что позволяет четко фиксировать количество ударов пульса. На выходе *11* одновибратора сигнал имеет вид прямоугольных импульсов отрицательной полярности длительностью 200 мс и амплитудой 5 В, частота повторения которых изменяется от 0,5 до 3,3 Гц.

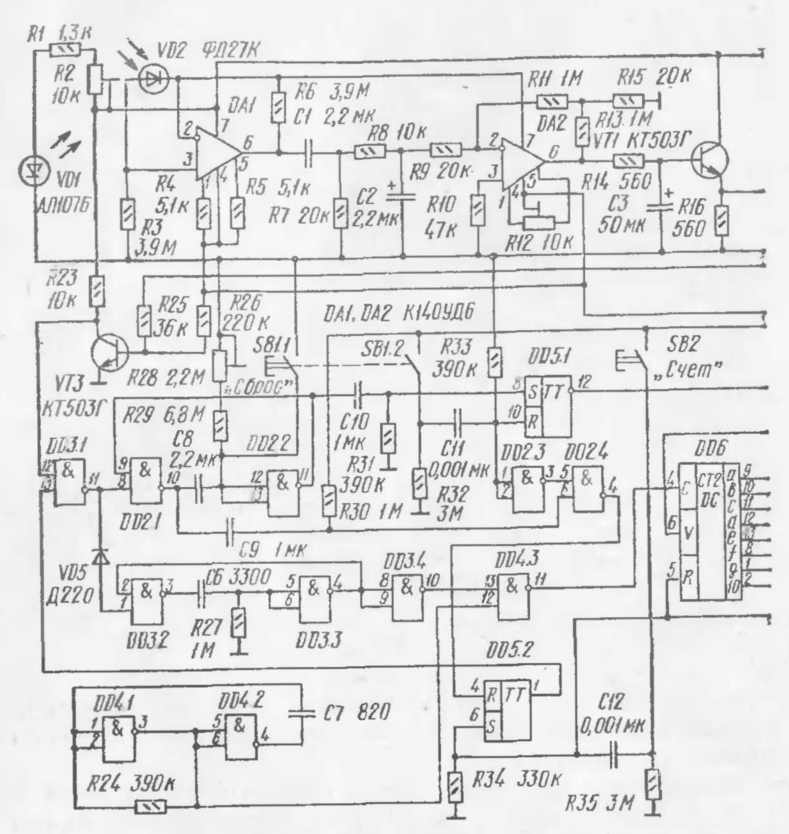
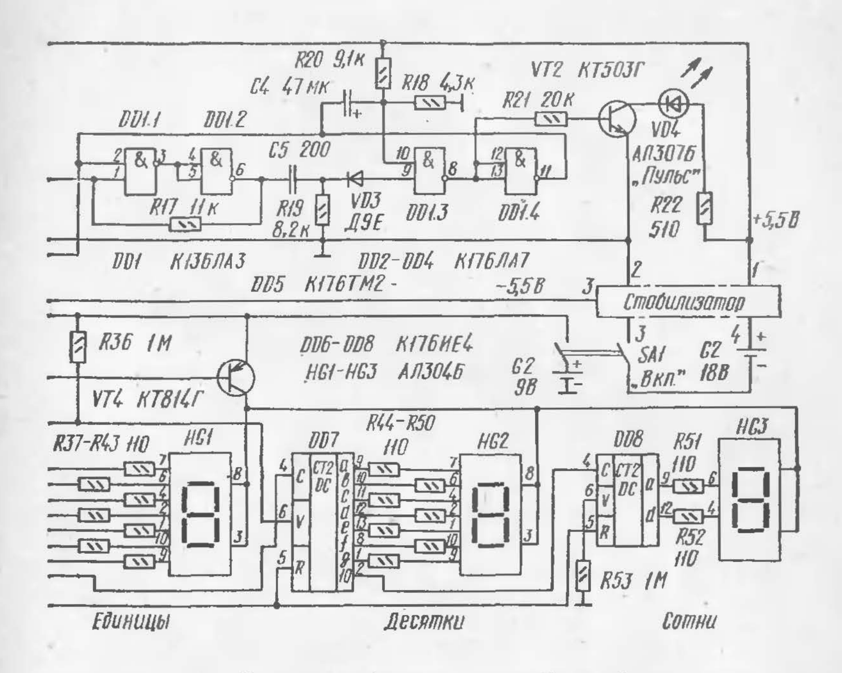


Рис. 2. Принципиальная схема измерителя пульса

Индикация ударов пульса осуществляется светодиодом *VD4*. Таким образом посредством микросхем *DA1*, *DA2* и *DD1* удается выделить импульсы ударов пульса.

При желании радиолюбители могут заменить цифровую часть прибора более простой, аналоговой, в качестве которой подойдет простой стрелочный частотомер с диапазоном измерения 0,5...3 Гц и шкалой, проградуированной в уд/мин.

Измерение частоты пульса в приборе принято самое простое — подсчет импульсов за определенный период времени, хотя, строго говоря, удачней была бы система отсчета пульса в режимах «средний» (за 10 ударов пульса) или «мгновенный» (от удара к удару). Однако по-



следние способы подсчета пульса требуют более сложной реализации, что приведет к нежелательному увеличению габаритов прибора.

Цифровая часть измерителя частоты пульса содержит следующие функциональные узлы: двенадцатисекундный одновибратор (*DD2.1* и *DD2.2*), одновибратор с длительностью импульса 2,5 мс (*DD3.2—DD3.4*), генератор прямоугольных импульсов с частотой 2 кГц (*DD4.1* и *DD4.2*), триггеры управления (*DD5.1* и *DD5.2*) и двоично-десятичные счетчики-дешифраторы (*DD6—DD8*). Подсчет числа импульсов цифровой частью начинается после нажатия на кнопку *SB2* «Счет». При нажатии вырабатывается импульс, который обнуляет счетчики *DD6—DD8* и переводит *RS*-триггер *DD5.2* в состояние, при котором его выходной сигнал дает разрешение на прохождение импульсов подсчета пульса через логический элемент *DD3.1*. Первый же пришедший сигнал пульса запускает оба одновибратора. Каждый импульс одновибратора *DD3.2—DD3.4*, поступая на схему *DD4.3*, стробирует прохождение пяти импульсов генера-

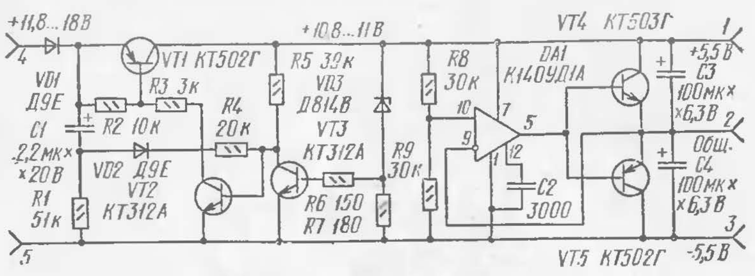


Рис. 3. Схема стабилизатора

тора на счетчики. Такой режим работы продолжается в течение 12 с после прихода первого импульса пульса и длится до тех пор, пока одновибратор *DD2.1, DD2.2* спадом импульса не сбросит *RS*-триггер *DD5.2* и, следовательно, прохождение импульсов через элемент *DD3.1* прекратится. Одновременно с этим одновибратор *DD2.1, DD2.2* через цепь *C10R31* воздействует на триггер *DD5.1*, который открывает транзистор *VT4*, и на трех семисегментных светодиодных индикаторах будет высвечено число ударов пульса в минуту. Кнопка *SB1* «Сброс» служит для установки начальных состояний триггеров управления и одновибратора *DD2.1, DD2.2*, ею же происходит гашение светодиодов индикации.

Соединение счетчиков-дешифраторов *DD6—DD8* семисегментных индикаторов *HG1—HG3* — стандартное. Микросхема *DD8*, с которой задается значение сотен, соединена с индикатором только через два резистора *R51, R52*, поэтому, если число ударов пульса меньше ста, светодиодная матрица *HG3* не загорается.

Схема стабилизатора двуполярного напряжения ±5 В изображена на рис. 3. Собственно стабилизатор собран на транзисторах *VT1—VT3*. Применение двухкаскадного усилителя на транзисторах *VT2, VT3* и включение опорного стабилитрона в цепь базы транзистора *VT3* позволили получить коэффициент стабилизации по напряжению более 500 при выходном сопротивлении не более 0,2 Ом. Включением в качестве регулирующего элемента *p-n-p* транзистора *VT1* удалось добиться стабилизации выходного напряжения при минимальном напряжении на входе не менее 11,8 В. При включении запуск стабилизатора осуществляется цепочкой *C1R1 VD2R4*. В момент включения импульсом тока зарядки

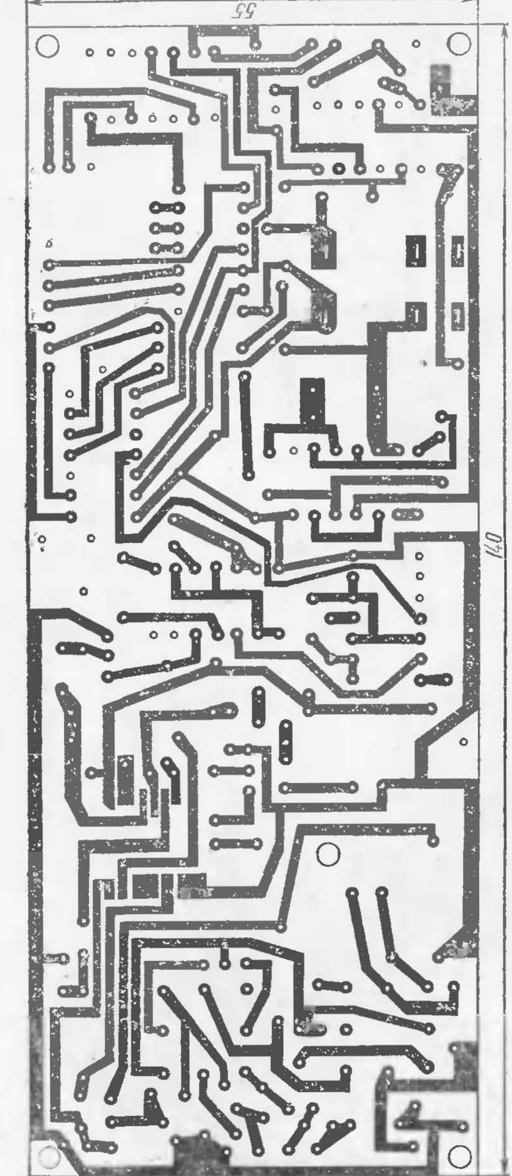


Рис. 4. Печатная плата измерителя пульса (вид со стороны проводников)

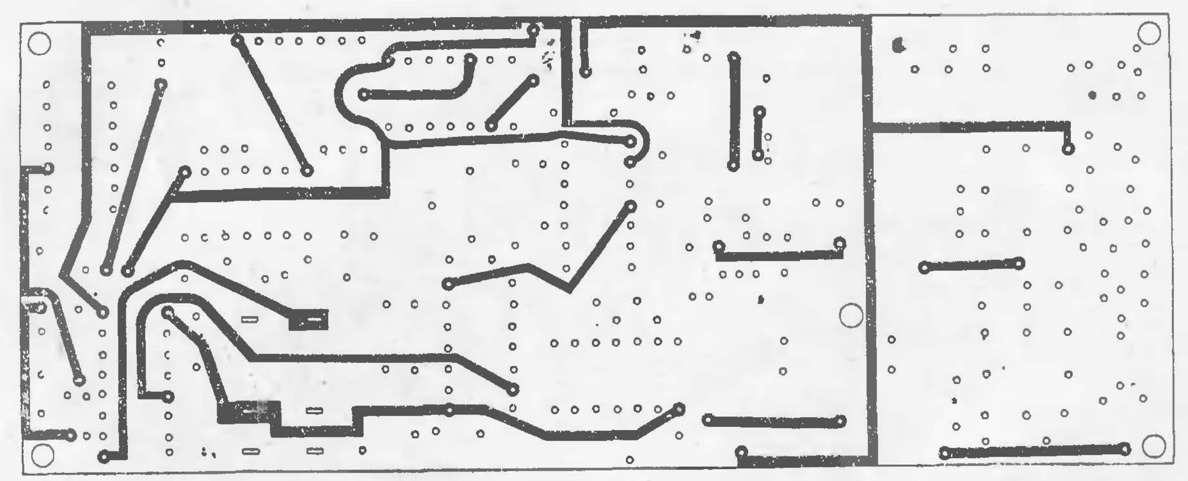


Рис. 5. Печатная плата измерителя пульса (вид со стороны элементов)

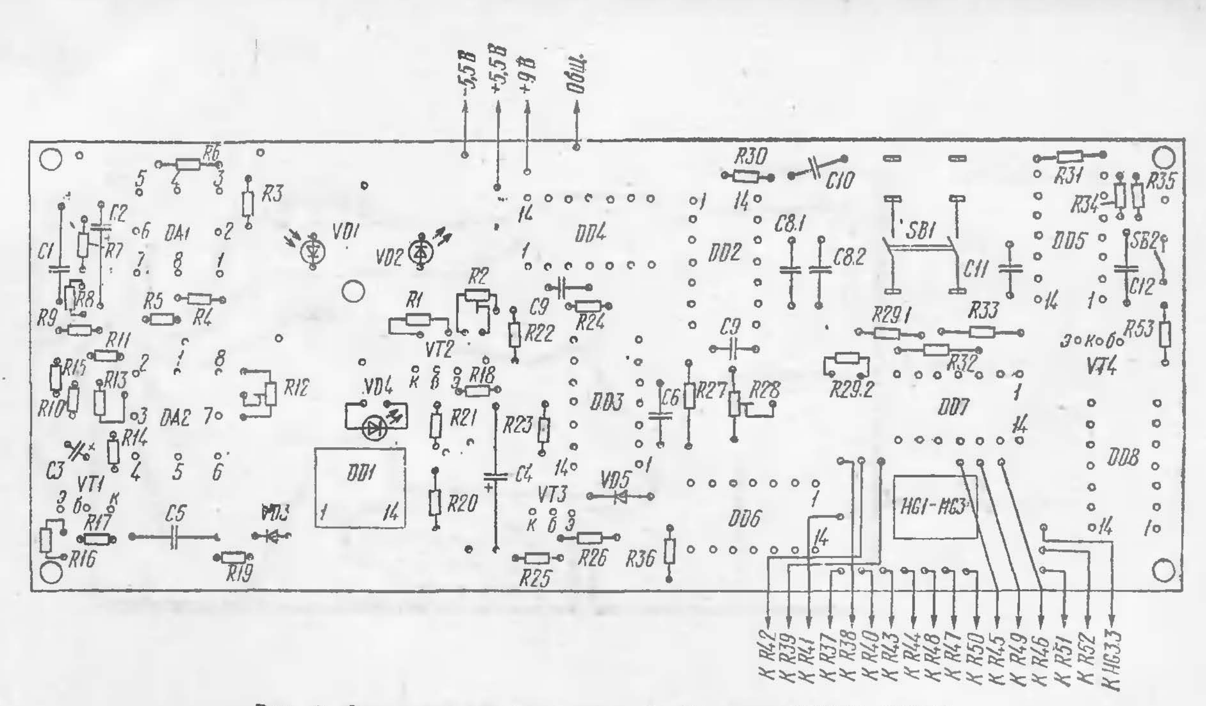


Рис. 6. Расположение элементов на плате измерителя пульса

конденсатора *C1* открывается транзистор *VT2* и выводит устройство в режим стабилизации. Стабилизатор имеет защиту от короткого замыкания в выходной цепи. Выходное напряжение стабилизатора, равное 11 В, с помощью микросхемы *DA1* и транзисторов *VT4*, *VT5* преобразуется в двуполярное напряжение ±5,5 В с искусственной средней точкой. К сожалению, установка такого расщепителя после стабилизатора лишает последний возможности реагировать на короткие замыкания в цепях нагрузки. Выходной ток стабилизатора при коротком замыкании в одной из нагрузок достигает 200 мА, однако применение транзисторов средней мощности обеспечивает достаточную (при недлительном КЗ) надежность. Разумеется, такой большой выходной ток при настройке можно получить, питая стабилизатор от мощного источника. В реальном приборе короткое замыкание приведет к быстрому разряду батарей «Крона-ВЦ». Для предотвращения пробоя транзисторов при неправильном подключении батарей питания в схему введен диод *VD1*. Ток, потребляемый стабилизатором двуполярного напряжения в режиме холостого хода, не превышает 7 мА.

Измеритель пульса заключен в прямоугольный пластмассовый корпус черного цвета. Его размеры определяются размером наибольшей из печатных плат (рис. 4—6), на которой смонтирована основная часть устройства. На передней панели прибора расположены кнопки и надписи «Счет», «Сброс» белого цвета, светодиодное табло прикрыто прозрачной целлулоидной пленкой красного цвета.

Печатные платы прибора, а их всего 3, изготовлены из двустороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 2 мм. Высота установленных элементов на плате не должна превышать высоту ИК-датчика. Потенциометры *R2* и *R12* приклеивают эпоксидным клеем таким образом, чтобы их регулировочные винты были расположены перпендикулярно к плате. Микросхема *DD1*, имеющая планарные выводы, распаивается со стороны печатных проводников. Семисегментные индикаторы расположены на небольшой отдельной плате из стеклотекстолита, разводка проводников которой ввиду ее простоты не дается. Она соединяется с основной платой через ограничительные резисторы *R37—R52*, которые одновременно выполняют и функции элементов крепежа

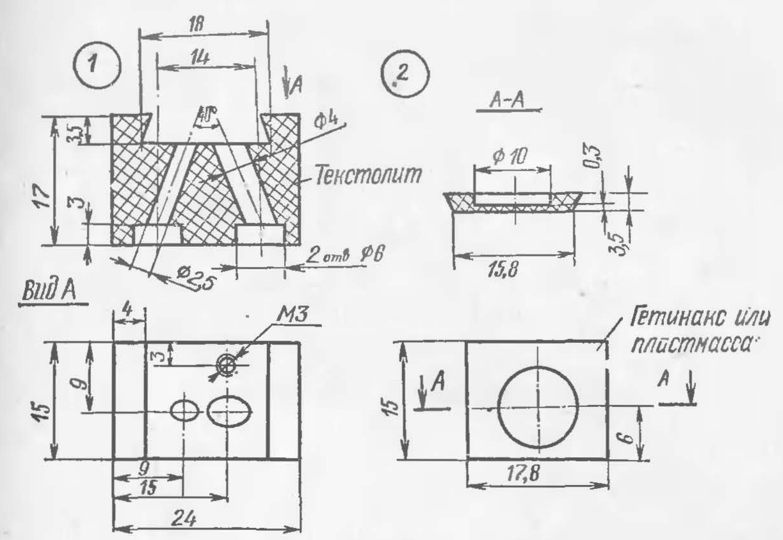
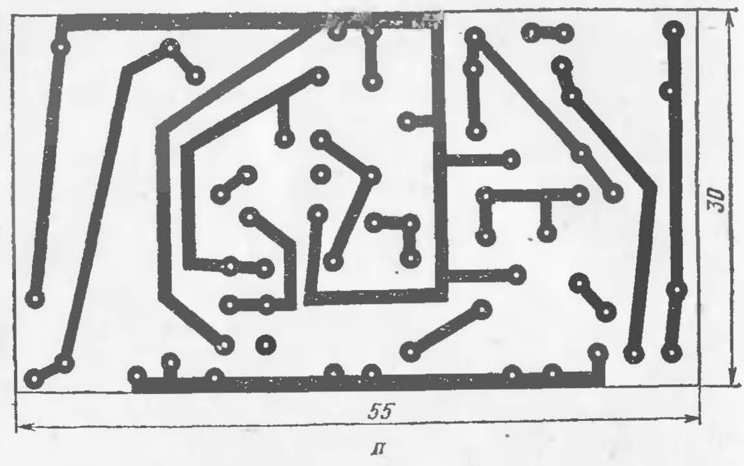


Рис. 7. Чертежи деталей датчика:
1 — корпус; *2* — крышка

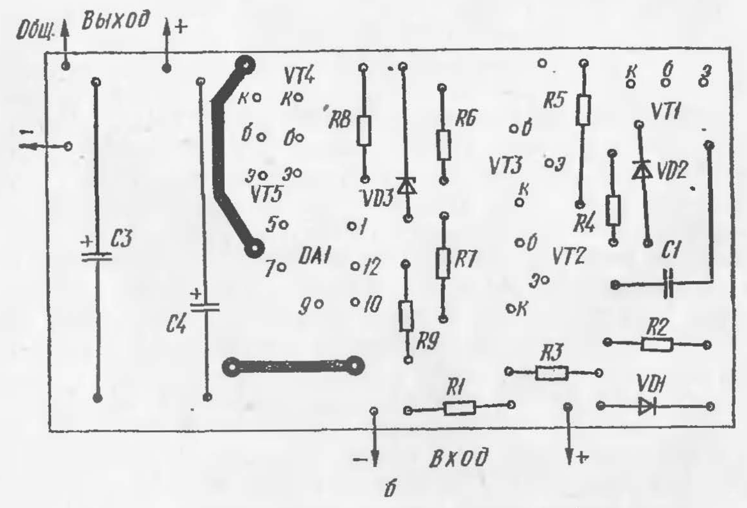
платы. Резисторы устанавливаются вертикально. Один конец у каждого резистора распаян на основной плате, другой на плате индикаторов (в статье не приводится). Важным узлом прибора является ИК-датчик, конструкция которого представлена на рис. 7. Он представляет собой прямоугольный брусок текстолита, имеющий два цилиндрических канала, в которые вставляются светодиод и фотодиод. В собранном датчике эти элементы несколько выступают из каналов и упираются в пластмассовую крышку.

Крепится датчик к плате с помощью винта М3. Пластинка датчика, закрывающая ИК-диоды, требует при изготовлении особого внимания и аккуратности. Ее внутреннюю и внешнюю поверхности необходимо тщательно отполировать, так как шероховатость пластинки может привести к недопустимому рассеиванию ИК-лучей и, как следствие этого, к дроблению сигнала пульса. Под основной печатной платой расположены плата стабилизатора (рис. 8, 9) и отсек питания для размещения 3 батарей «Крона-ВЦ». При изготовлении отсека питания необходимо обеспечить его герметизацию. Светодиод *VD4* «Пульс» впаивается в основную плату вертикально.



а

Рис. 8. Печатный монтаж стабилизатора



б

Рис. 9. Расположение элементов на плате стабилизатора

В левой боковой стенке установлен тумблер включения питания *SA1*.

В приборе применены конденсаторы КМ-6 *(C1, C8, C9, C10)*, КМ *(C5, C6, C7, C11, C12)*, К53-1 *(C2, C4)*, К50-6 *(C3)*. Все постоянные резисторы, примененные в приборе, МЛТ-0,125, переменные *R2* и *R12* — СП-5-3;

R28 — СП4-1. Кнопка *SB1* состоит из двух микропереключателей МП-9; *SB2* — МП12. Тумблер включения питания *SA1* — МТ-I. В стабилизаторе двуполярного напряжения применены конденсаторы К53-1 *(C1)*, КМ-6 *(C2)*, К52-1 *(C3, C4)*, резисторы МЛТ-0,125.

Отметим возможные замены некоторых элементов схемы, хотя таких вариантов очень мало. ИК-фотодиод *VD2* ФД-27К можно заменить более распространенным ФД-3, транзисторы КТ503Г, примененные в усилительной части, заменяются КТ312Б, транзистор КТ814Г — КТ503Г. Вместо ОУ К140УД6 можно применить другие ОУ, но они должны удовлетворять следующим основным требованиям: $U_{\text{пит. мин}} < 5{,}5$ В, $K_{у} \geqslant 20\,000$, $I_{вх} \leqslant 200$ нА. Это могут быть ОУ К140УД7, К140УД12 и К153УД5. Микросхемы серии К176 можно заменить на аналогичные из серии К561.

Н а л а ж и в а н и е смонтированного устройства начинают с проверки стабилизатора напряжения. Для этого на его вход подают от внешнего источника напряжение 15 В и подбором стабилитрона и сопротивления резистора *R7* (150...200 Ом) устанавливают на коллекторе *VT1* выходное напряжение 10,8...11 В. Это напряжение на выходе платы стабилизатора делится пополам относительно общей клеммы. Так как микросхема К140УД1А склонна к самовозбуждению, необходимо проконтролировать отсутствие на ее выходе ВЧ колебаний, наличие которых значительно увеличивает ток, потребляемый стабилизатором. При необходимости емкость корректирующего конденсатора *C2* следует увеличить. Если выходные напряжения отличаются более чем на 0,1 В, их выравнивание осуществляется незначительным изменением сопротивлений резисторов *R8* и *R9*. После этого готовый стабилизатор проверяют под током нагрузки 40...50 мА в интервале входного напряжения 12...18 В. Изменение выходного напряжения при изменении тока нагрузки от 0 до 20 мА не должно превышать 10 мВ.

Для настройки основной платы потребуется осциллограф с секундной разверткой (например, С1-76). Сначала проверяется режим работы ИК-датчика и входного ОУ. Для этого, положив палец на датчик (пока без защитной пластины), регулируют ток излучающего светодиода *VD1* потенциометром *R2*, устанавливая выходное напряжение ОУ *DA1* в пределах + 2...3 В. Если

постоянное выходное напряжение отрицательной полярности, необходимо изменить распайку фотодиода *VD2*. После проведения этой регулировки на выходе *DA1* с помощью осциллографа можно наблюдать сигналы пульса с амплитудой 0,5...4 мВ. Вторая контрольная точка — выход микросхемы *DA2*. Переменным резистором *R12*, при закрытом светонепроницаемым предметом датчике, устанавливают положительное напряжение на выводе *6* микросхемы *DA2* в пределах +0,6...0,7 В. Затем контролируют напряжение на выходе эмиттерного повторителя *VT1* — резистором *R12* устанавливают напряжение +0,1...0,15 В. После этих операций первичная настройка усилительной части заканчивается — при касании пальцем ИК-датчика в такт с пульсом мигает светодиод *VD4*.

Если цифровая часть смонтирована без ошибок, то какой-либо специальной настройки не потребуется. При включении питания должны загореться нули на индикаторах единиц и десятков, а индикатор, указывающий сотни, не должен светиться. Затем, положив палец на ИК-датчик, добиваются мигания светодиода «Пульс». Теперь, если нажать на кнопку *SB2* «Счет», число на светодиодных индикаторах при каждом ударе пульса должно увеличиваться на пять. Примерно через 12 с счет импульсов заканчивается. При нажатии на кнопку *SB1* «Сброс» индикаторы должны погаснуть. Если цифровая часть исправна, следует проверить точность пересчета импульсов. Но вначале настраивают одновибратор *DD2.1*, *DD2.2*, который легко проверить с помощью секундомера, замеряя время от момента прохождения первого импульса пульса после нажатия кнопки «Счет» до загорания светодиодного табло. Период импульсов одновибратора регулируется резистором *R28*. Для проверки пересчета необходимо подавать секундные импульсы положительной полярности на вход транзистора *VT1*. Проще всего такие импульсы получить от генератора Г3-39. Изменяя частоту генератора от 0,5 до 3,3 Гц, проверяют точность измерения. Если подобного генератора нет в наличии, импульсы такой частоты можно получить либо от цифровых электронных часов, либо от генератора горизонтальной развертки осциллографа. При необходимости производят подстройку генератора частоты 2 кГц или одновибратора *DD2.1*, *DD2.2*. Последняя операция настройки — установка защитной пластинки на ИК-датчик, который обязательно следует протереть

спиртом. Положив палец на датчик, вновь проверяют выходное напряжение ОУ *DA1* и, при необходимости, подстраивают его, учитывая, что приближение выходного напряжения к своему предельному положительному значению увеличивает чувствительность прибора.

Если чувствительность прибора оказалась недостаточной, следует уменьшить толщину пластинки ИК-датчика до предела или изготовить ее из другого, более прозрачного для ИК-лучей материала. Повысит чувствительность и увеличение емкости конденсатора *C1* на 1...2 мкФ.

Пользоваться цифровым измерителем пульса несложно. Включают прибор и сразу же нажимают кнопку «Сброс» в целях экономии энергии батарей питания. Затем, взяв прибор в руки, нежно, без нажатия, кладут палец на пластинку ИК-датчика и добиваются мигания светодиода в такт с ударами пульса. Через 3...4 удара пальцем левой руки нажимают кнопку «Счет». Через 12 с на табло появится цифра, показывающая число ударов пульса в минуту. Индикаторы гасятся нажатием на кнопку «Сброс». Во время измерения надо следить за тем, чтобы рука не колебалась и, если во время 12-секундного цикла было дробление сигналов светодиода от колебаний руки, измерение надо прервать нажатием кнопки «Сброс» и снова запустить кнопкой «Счет». Измеряя пульс, надо помнить, что, если прибор улавливает биение крови внутри капилляров, то колебание руки будет отмечено и подавно, что приведет к искажению результата измерения. Работа с прибором на открытом воздухе имеет некоторые особенности. Так, зимой может оказаться, что замерить пульс очень трудно, если у человека холодные руки, а на ярком солнце его лучи «ослепляют» ИК-датчик, и пульс можно измерять только в тени.

Литература

Алексенко А. Г., Коломбет Е. А., Стародуб Г. И. Применение прецизионных аналоговых ИС.— М.: Радио и связь, 1981.

Ефремов В., Шнапцев Ю. Электроника измеряет пульс.— Моделист-конструктор, 1982, № 10.

Измеритель частоты пульса, встроенный в наручные часы.— Электроника, 1977, № 9, с. 10, 11.

Часы на жидких кристаллах в качестве счетчика пульса.— Электроника, 1979, № 5, с. 7, 8.

ГОРОДСКОЙ РАДИОПРИЕМНИК

Н. Герцен

В условиях крупных городов с мощными местными радиостанциями качественный прием может обеспечить приемник, работающий в диапазоне средних волн. Однако, даже при незначительном удалении от радиостанции, из-за атмосферных и индустриальных помех уверенный прием в этом диапазоне невозможен. Учитывая, что во многих городах страны имеется радиовещание в диапазоне очень высоких частот с частотной модуляцией, именно этот диапазон может стать основным при разработке городского радиоприемника.

Как известно, традиционные приемники ЧМ отличает от приемников АМ сложность изготовления и настройки входных и гетеродинных контуров, частотного детектора и схемы автоподстройки частоты гетеродина, применения большего количества усилительных каскадов ПЧ, тщательность при выполнении монтажа и экранировки радиочастотных цепей. Поэтому повторение описанных в литературе конструкций малогабаритных «карманных» приемников ЧМ доступно лишь квалифицированным радиолюбителям.

Существенно упростить конструкцию приемника ЧМ возможно, предусмотрев в нем преобразование частотно-модулированных колебаний в амплитудно-модулированные. Такое преобразование в описанном ниже приемнике достигается расстройкой входного контура с частотой резонанса $f_к$ относительно средней частоты передатчика $f_{ср}$ на величину ($f_{ср}$—$f_к$) (рис. 1). В этом случае изменение частоты передатчика в ту или другую сторону приводит к изменению амплитуды радиочастотных колебаний A в контуре. Полученные амплитудно-модулированные колебания преобразовываются с помощью гетеродина в сигнал промежуточной частоты и детектируются обычным диодным детектором. Так как напряженность поля радиоволн очень высоких частот существенно изменяется даже в пределах небольшого района города, в приемник введена эффективная система АРУ.

К недостаткам такого приемника следует отнести то, что прием может осуществляться лишь на частоте, рас-

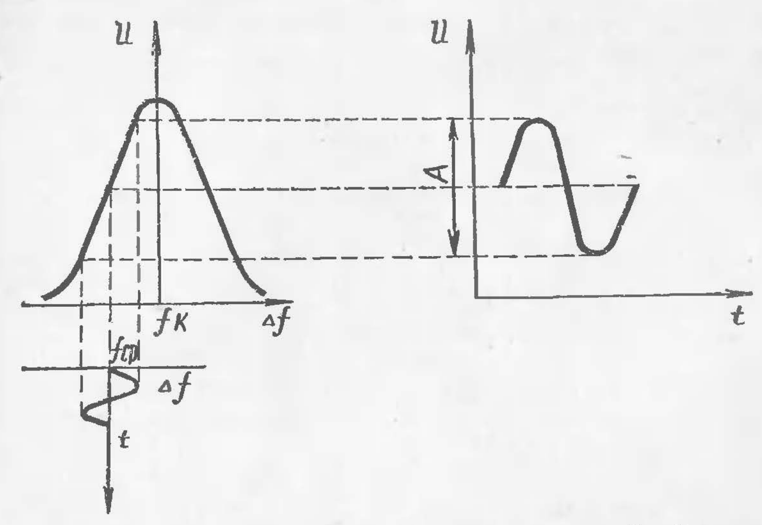


Рис. 1. Преобразование частотно-модулированных колебаний в амплитудно-модулированные методом расстроенного контура

положенной сбоку от средней частоты радиостанции, при точной настройке на радиостанцию сигнал пропадает. Кроме того, невозможно использование имеющихся в промышленном блоке УКВ-2-2Е, примененном в приемнике, элементов автоподстройки частоты гетеродина.

Однако эксплуатация приемника показала, что эти недостатки окупаются простотой изготовления и настройки при заметно лучшем, по сравнению с малогабаритными приемниками АМ, качестве звучания.

Основные технические характеристики

Диапазон принимаемых радиочастот, МГц	66...73
Чувствительность при отношении сигнал/шум 26 дБ, мкВ	20
Максимальная выходная мощность, Вт	0,1
Номинальный диапазон воспроизводимых звуковых частот, Гц	400...7000

Приемник питается от трех элементов А316 напряжением 4,5 В, его работоспособность сохраняется при снижении напряжения питания до 2,5 В. Потребляемый ток в режиме молчания 6,0 мА. Имеется подсветка шкалы

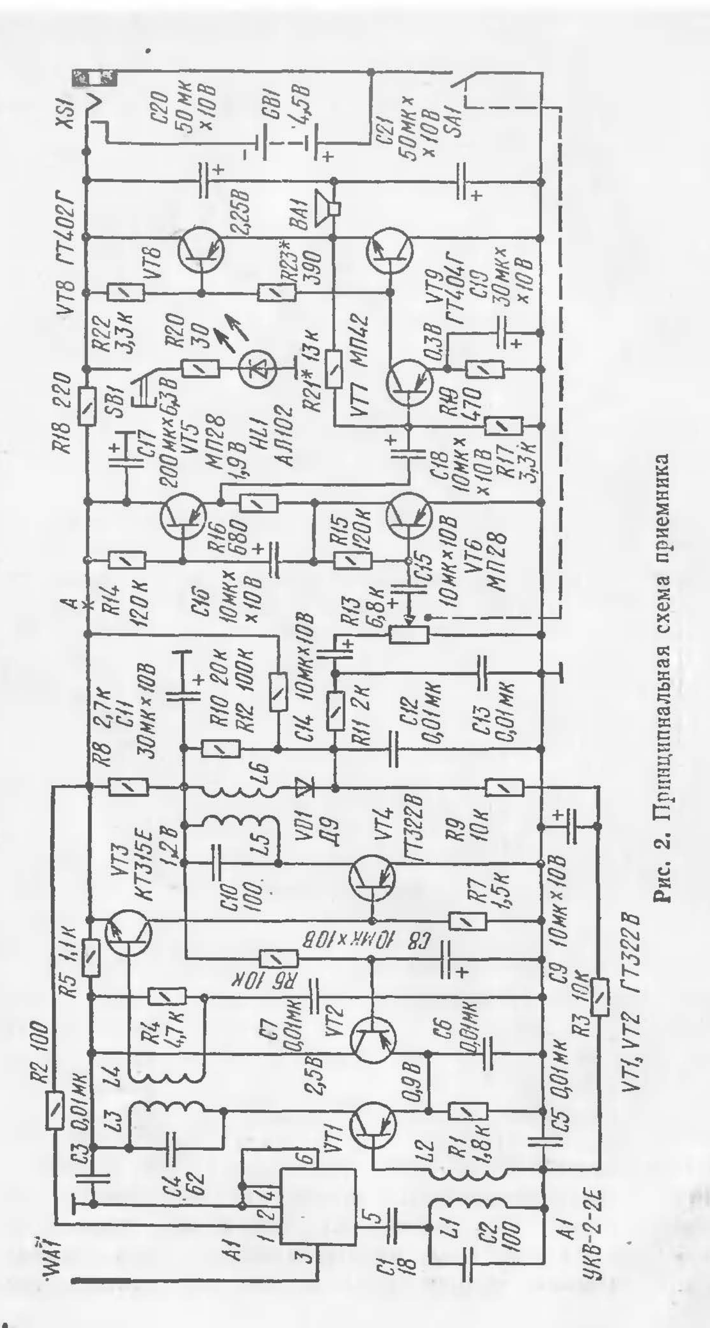


Рис. 2. Принципиальная схема приемника

с использованием светодиода, служащего одновременно индикатором разрядки батарей, а также гнездо для включения внешней батареи и подзарядки внутренней.

Принципиальная схема приемника приведена на рис. 2. Он состоит из блока *A1*, в который входят усилитель радиочастоты и преобразователь, трехкаскадного усилителя промежуточной частоты (*VT1, VT3, VT4*), диодного детектора *VD1*, усилителя АРУ (*VT2*) и усилителя звуковой частоты (*VT5—VT9*).

Сигнал ЧМ, принятый антенной *WA1*, поступает в блок *A1*, описанным выше способом преобразуется в сигнал АМ частотой 10,7 МГц и выделяется трехконтурным фильтром сосредоточенной селекции (ФСС). Два контура ФСС входят в состав блока *A1*, третьим является контур *L1C2*.

Напряжение ПЧ, выделенное ФСС, с помощью катушки связи *L2* поступает на трехкаскадный усилитель ПЧ, за основу которого взято хорошо себя зарекомендовавшее схемное решение, предложенное Е. Б. Гумелей. Все каскады усилителя ПЧ выполнены по схеме с общим эмиттером. Нагрузками первого (*VT1*) и третьего (*VT4*) каскадов являются соответственно контуры *L3C4* и *L5C10*. Второй каскад усилителя ПЧ, выполненный на транзисторе *VT3*, апериодический.

Напряжение ПЧ с катушки связи *L6* поступает на диодный детектор *VD1* и далее через фильтр звуковых частот *C12R11C13* на регулятор громкости *R13*.

Напряжение АРУ снимается с детектора *VD1* и через фильтр *R9C9R3C5* подается на базу транзистора *VT1*, уменьшая его усиление при приеме сильных сигналов. Одновременно в цепь эмиттера этого транзистора подается отрицательное напряжение с усилителя АРУ, выполненного на транзисторе *VT2*. В результате такого воздействия напряжение ПЧ на выходе изменяется не более чем на 6 дБ при изменении напряжения на входе на 60 дБ.

Каскады на транзисторах *VT1, VT3* представляют собой усилитель постоянного тока, включенный в цепь отрицательной обратной связи транзистора *VT4*. Это обеспечивает высокую степень стабилизации напряжения на его коллекторе, а следовательно, и режимов транзисторов *VT1* и *VT3*, которые автоматически поддерживаются при замене транзисторов, изменении напряжения

питания и температуры окружающей среды. Описанный усилитель ПЧ испытывался в интервале температур от +40 до —45 °С и показал удовлетворительные результаты.

Усилитель звуковой частоты трехкаскадный. Первый каскад выполнен на малошумящих транзисторах *VT5, VT6* по схеме с «динамической» нагрузкой. Такое включение транзисторов позволило получить большое усиление напряжения звуковой частоты при небольшом потребляемом токе. В выходном каскаде использованы транзисторы средней мощности *VT8, VT9*, что позволило увеличить максимальную выходную мощность при относительно небольшом напряжении питания. Два последних каскада усилителя охвачены общей ООС, напряжение которой снимается с нагрузки *BA1* и подается в цепь базы транзистора *VT7*.

Конструкция и детали. Приемник смонтирован на двух печатных платах *1, 7* (рис. 3), одной из которых *(7)* является блок *A1* — промышленный блок УКВ-2-2Е от приемника «Океан-205» со снятым экранирующим корпусом. На второй печатной плате *1* (плата усилителей, рис. 4), изготовленной из фольгированного стеклотекстолита толщиной 0,5 мм, расположены усилитель ПЧ, детектор *VD1*, регулятор громкости *R13* и усилитель звуковой частоты. Обе платы установлены в корпусе от приемника «Сокол» первых выпусков. Плата блока *A1* жестко закреплена одним центральным винтом к передней стенке корпуса. Плата усилителей связана с платой блока *A1* и батареей питания семью гибкими проводниками. В корпусе приемника она крепится к втулке, закрепленной через одно из отверстий в плате *A1*. В корпусе закреплены также телескопическая антенна *2* (см. рис. 3) от приемника «Океан-205», динамическая головка *6* (0,15ГД-1 или 0,1ГД-6), гнездо *4* для подключения внешней батареи и микровыключатель *3* для включения светодиода *HL1* подсветки шкалы. Телескопическая антенна *2* крепится торцевой частью с имеющимся отверстием с резьбой к боковой стенке корпуса *5* винтом М6 с потайной головкой. Антенна вытягивается из корпуса за пластмассовый наконечник *9*, который при сложенной антенне является декоративной заглушкой. Ручка настройки *8* закреплена непосредственно на оси конденсаторов переменной емкости блока УКВ-2-2Е. С помощью имеющегося в блоке верньерного устройства

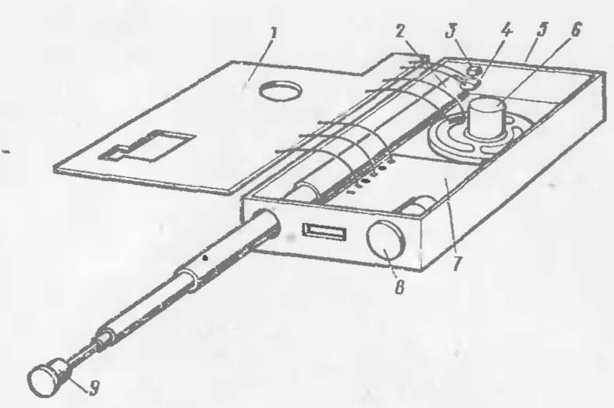


Рис. 3. Конструкция приемника

она обеспечивает плавное перекрытие диапазона за два оборота.

В приемнике использованы постоянные резисторы МЛТ-0,125, переменный резистор СП3-3В, конденсаторы К50-6 *(C8, C9, C11, C19—C21)*, К50-12 *(C15—C18)*, КТ *(C2, C4, C10)*, остальные — КМ.

Вместо транзисторов ГТ322В могут быть использованы ГТ313, ГТ308, П401—П403, вместо КТ315Е—КТ342 с любыми буквенными обозначениями. Коэффициент усиления транзисторов не менее 60. Транзисторы *VT5—VT7* могут быть заменены на любые типы низкочастотных соответствующей проводимости. Возможна замена ГТ402Г на МП42 и ГТ404Г на МП38, но максимальная громкость приема при этом уменьшится, искажения возрастут.

Катушки *L1—L6* намотаны на каркасах высокочастотных контуров от приемника «Юпитер». *L1, L3, L5* имеют по 14 витков, *L2, L4* — по 4 витка, *L5* — 8 витков провода ПЛШО-0,14.

Кассета для батареи представляет собой две контактные пластинки треугольной формы из фольгированного стеклотекстолита. Пластинки приложены к торцам сложенных вместе трех элементов А316 и стянуты тремя шпильками. К одной из пластинок прикреплена контактная колодка от батареи «Крона». Возможен более простой вариант оформления источника питания. Три элемента А316 обвязываются ниткой, к их электродам припаиваются провода, соединяющие их между собой и с

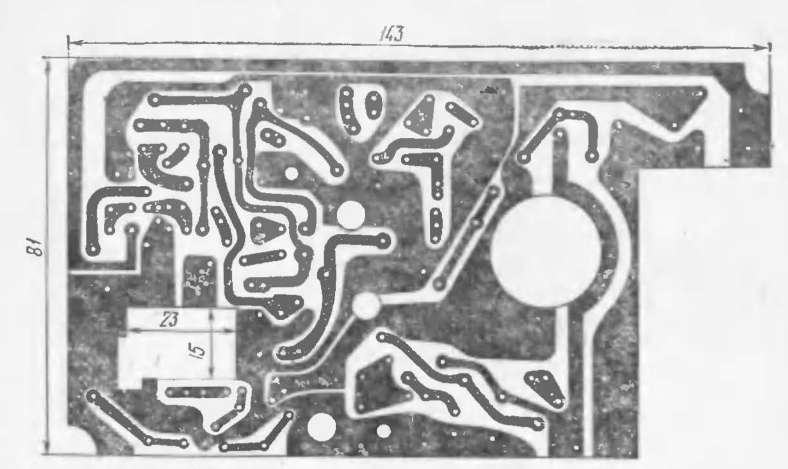


Рис. 4, а. Печатный монтаж платы УСЧ

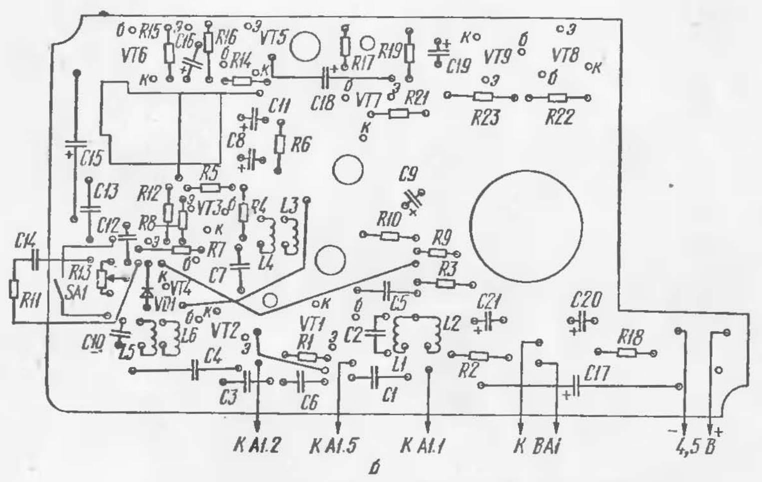
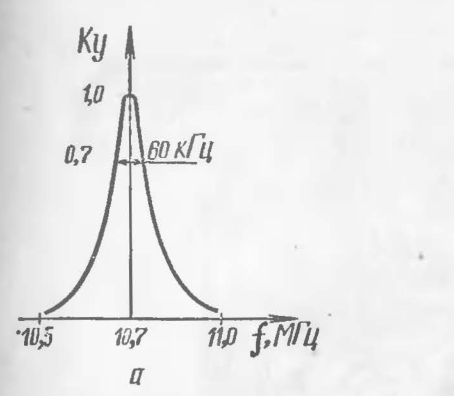


Рис. 4, б. Расположение элементов на плате УСЧ

контактной колодкой. Так как ширина такой батареи превышает ширину батареи «Крона», окно под источник питания в задней крышке корпуса расширяется на 4 мм и для него изготовляется новая заглушка.

Налаживание приемника начинают с усилителя звуковой частоты, предварительно разъединив цепь питания усилителя ПЧ в точке *А* (см. рис. 2).



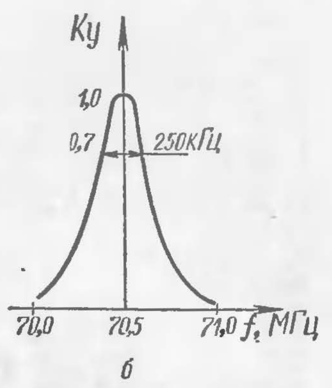


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика УПЧ (*а*) и сквозного тракта (*б*)

Потребляемый усилителем звуковой частоты ток в режиме покоя не должен превышать 3 мА. Его устанавливают резистором *R23*. Подбором сопротивления резистора *R21* устанавливают на эмиттерах транзисторов *VT8, VT9* напряжение, равное половине напряжения питания. После этого соединяют разрыв в точке А и переходят к проверке режимов транзисторов усилителя ПЧ, которые, при исправных деталях, устанавливаются автоматически. Затем настраивают колебательные контуры, подавая напряжение с сигнал-генератора или с выхода ПЧ промышленного радиоприемника частотой 10,7 МГц последовательно на базы транзисторов *VT3, VT1* и конденсатор *C1*. Индикатором точной настройки при этом являются минимальные показания миллиамперметра, включенного в коллекторную цепь транзистора *VT1*. Окончательную подстройку контуров производят по минимуму показаний этого миллиамперметра при точной настройке на передающую радиостанцию.

На этом настройка приемника заканчивается.

Полоса пропускания настроенного усилителя ПЧ имеет вид, изображенный на рис. 5, *а*, а сквозного тракта приемника — на рис. 5, *б*.

Литература

Гумеля Е. Б. Любительские транзисторные приемники.— М.: Энергия, 1980.

Изюмов Н. М., Линде Д. П. Основы радиотехники.— М.: Энергия, 1971.

КОНДЕНСАТОРНАЯ СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

А. Курченко, А. Синельников

Предлагаемая система зажигания отличается от описанной в сборнике «В помощь радиолюбителю», вып. 73 (М.: ДОСААФ, 1981) тем, что в ней накопительный конденсатор заряжается непрерывно, в связи с чем утечки в элементах вторичной цепи на работу системы не влияют.

Система помехоустойчива, нормально работает при наличии в бортовой сети импульсных помех с амплитудой до 80 В.

Режим многократного искрообразования не предусмотрен. Переключение с электронной системы на обычную батарейную производится с помощью штепсельных разъемов.

Система обеспечивает получение стабилизированного вторичного напряжения 360±10 В при изменении напряжения питания от 6,5 до 15 В, а также при изменении температуры от −40 до +70 °С.

Ток, потребляемый системой, изменяется линейно от 0,4 А при остановленном двигателе до 1,8 А при частоте вращения вала четырехтактного четырехцилиндрового двигателя, равной 6000 об/мин.

Длительность искрового разряда 0,3 мкс, а его энергия не менее 5,9 мДж.

Электрическая принципиальная схема рассматриваемого устройства зажигания приведена на рис. 1.

Система зажигания состоит из прерывателя *Пр*, электронного блока *ЭБ*, устройства переключения с электронного зажигания на батарейное, состоящего из штепсельных разъемов *XP1*, *XS1*, *XP2*, катушки зажигания *КЗ*, выключателя зажигания *ВЗ*, аккумулятора *GB*, выключателя стартера *ВСт*.

Электронный блок *ЭБ*, в свою очередь, состоит из следующих основных узлов:

однотактного преобразователя напряжения на транзисторе *VT2* и трансформаторе *T1*;

устройства стабилизации, состоящего из стабилитрона *VD9* и усилителя постоянного тока на транзисторах *VT1*, *VT3*, *VT4*, *VT5*;

накопительного конденсатора *C3*;

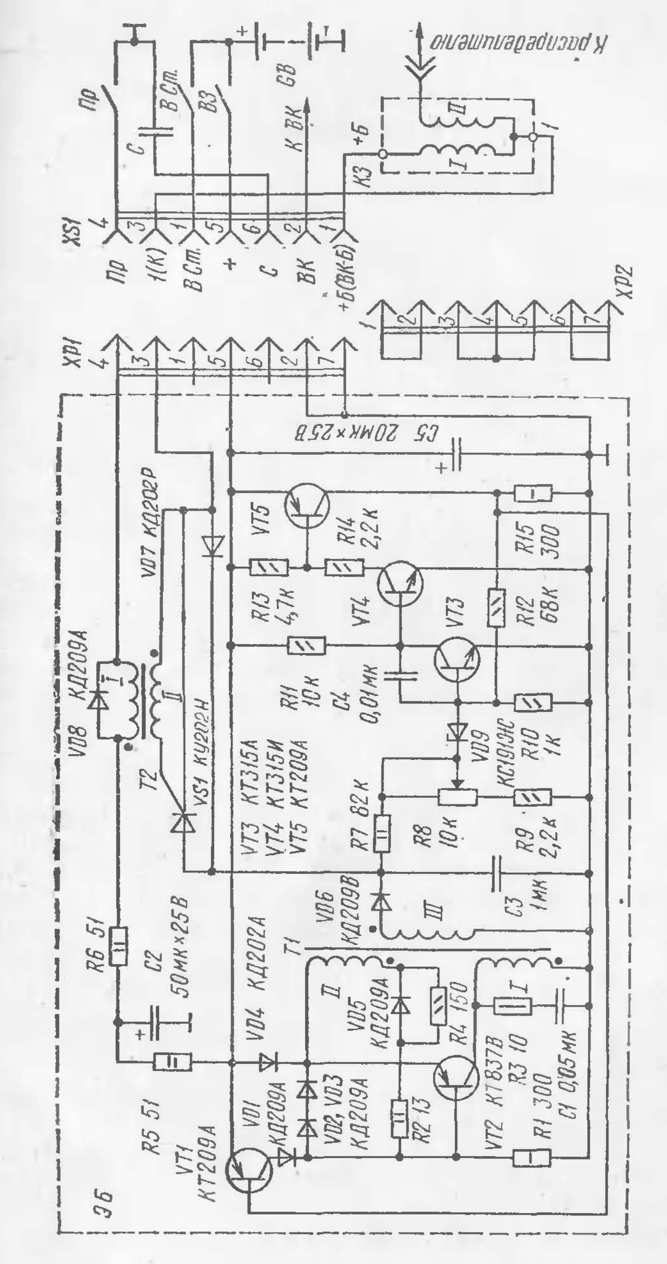


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема системы зажигания

устройства коммутации, состоящего из тиристора *VS1*, трансформатора управления *T2*, резисторов *R5*, *R6*, конденсатора *C2* и диода *VD8*;

разрядного диода *VD7*.

Работает устройство следующим образом. Допустим, что контакты прерывателя *Пр* в момент включения питания разомкнуты. После включения питания начинает работать преобразователь напряжения. Напряжение на накопительном конденсаторе *C3* в это время отсутствует, поэтому стабилитрон *VD9* и транзистор *VT3* закрыты. Транзисторы *VT4*, *VT5* при этом открыты. Первый из них током в его базу через резистор *R11*, а второй — током коллектора транзистора *VT4* в его базу через резистор *R14*. Открытый транзистор *VT5* шунтирует переход база — эмиттер транзистора *VT1*, вследствие чего последний закрыт и на работу преобразователя не влияет. Транзистор *VT2* преобразователя первоначально открывается током в его базу через резистор *R1*. При этом полное напряжение питания прикладывается к обмотке *I* трансформатора *T1*. В остальных обмотках трансформатора индуцируются напряжения. Отрицательное напряжение с начала обмотки *II* (начала обмоток на схеме рис. 1 обозначены точками) через диод *VD5* и резистор *R2* поступает на базу транзистора *VT2* и переводит транзистор *VT2* в состояние насыщения. Через обмотку *I* трансформатора *T1* начинает протекать линейно нарастающий ток (t_1 на рис. 2). В сердечнике трансформатора накапливается электромагнитная энергия $L_1 i_1^2/2$, где L_1 — индуктивность обмотки *I*, i_1 — ток через обмотку *I*.

Ток в обмотке *I* нарастает до тех пор, пока обеспечивается насыщение транзистора *VT2*, т. е. до тех пор, пока соблюдается условие:

$$i_1 = i_{KVT2} \leqslant I_{бVT2}\beta_{нас},$$

где i_{KVT2} и $I_{бVT2}$ соответственно токи коллектора и базы транзистора *VT2*, $\beta_{нас}$ — коэффициент усиления по току этого транзистора в режиме насыщения (обычно, $\beta_{нас} = 5...10$).

При достижении током i_1 значения $i_р = I_{бVT2}\beta_{нас}$, которое будем называть током разрыва, транзистор *VT2* начинает запираться. Напряжение на нем увеличивается, а на обмотке *I* уменьшается. Вследствие этого напряжение на обмотке *II* тоже уменьшается, что ускоряет процесс запирания транзистора *VT2*, который запирается

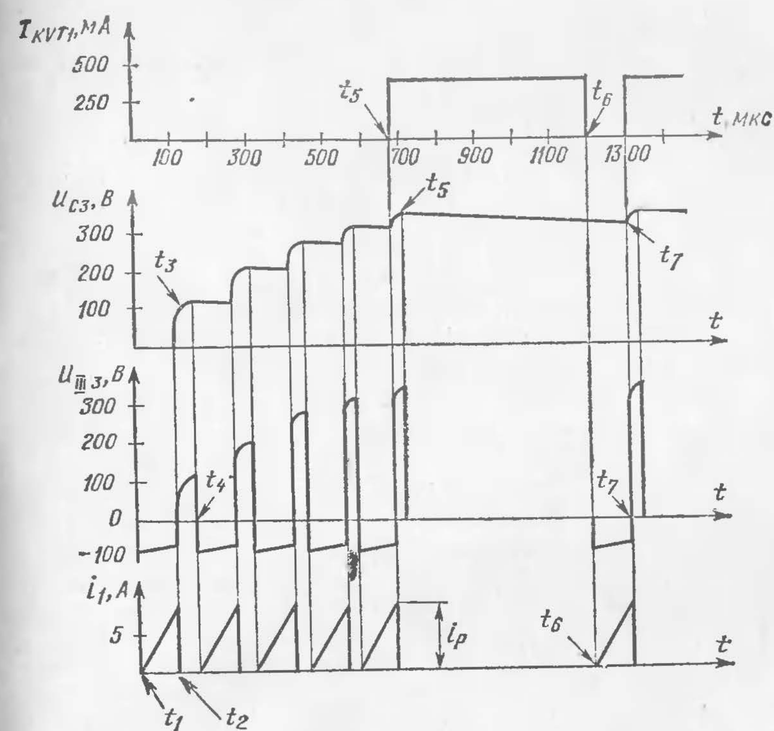


Рис. 2. Временные диаграммы работы однотактного стабилизированного преобразователя напряжения: U_{III}, U_{C3} — напряжение соответственно на обмотке *III* и конденсаторе *C3*, i_1 — ток через обмотку *I* трансформатора *T1*

в течение нескольких микросекунд. Напряжение в обмотках трансформатора *T1* изменяет свой знак. Положительное напряжение с начала обмотки *II* через резистор *R4* прикладывается к базе транзистора *VT2* и надежно запирает его. Ток через транзистор *VT2* и обмотку *I* трансформатора *T1* прекращается (t_2 на рис. 2). На этом заканчивается прямой ход работы преобразователя. К диоду *VD6* во время прямого хода с обмотки *III* прикладывается обратное напряжение, поэтому диод закрыт и вторичная цепь (элементы, расположенные на схеме рис. 1 правее диода *VD6*) на работу преобразователя влияния не оказывает.

После разрыва тока в обмотке *I* трансформатора *T1* начинается обратный ход работы преобразователя.

Энергия, накопленная в магнитном поле трансформатора, создает в его обмотках импульсы напряжения противоположной полярности. Положительный импульс с начала обмотки *III* открывает диод *VD6* и заряжает накопительный конденсатор до напряжения, зависящего от энергии, накопленной в магнитном поле трансформатора во время прямого хода, и емкости накопительного конденсатора (t_3 на рис. 2).

Если принять, что вся энергия, накопленная в магнитном поле трансформатора *T1* за время прямого хода, переходит в энергию электрического поля конденсатора, то напряжение, до которого зарядится накопительный конденсатор, будет равно:

$$U_c = i_р \sqrt{\frac{L_1}{C_3}},$$

где $i_р$ — сила тока разрыва; L_1 — индуктивность обмотки *I*.

Длительность импульса обратного хода также зависит от энергии, накопленной в трансформаторе, и емкости накопительного конденсатора *C3* и, кроме того, как видно из рис. 2, она уменьшается по мере увеличения амплитуды импульса. Действительно, энергия каждого импульса постоянна — $L_1 i_р^2/2$, следовательно, и площадь импульса постоянна, высота же импульса все время увеличивается и, следовательно, его длительность должна уменьшаться.

После окончания действия импульса обратного хода (t_4 на рис. 2) положительное напряжение в обмотках трансформатора *T1* исчезает, транзистор *VT2* снова открывается и вышеописанные процессы повторяются.

Напряжение на накопительном конденсаторе ступенчато возрастает. Когда оно достигает заданного значения 350...360 В (t_5 на рис. 2), которое определяется сопротивлением резисторов *R7, R8, R9* и напряжением стабилизации стабилитрона *VD9*, последний открывается. Открываются транзисторы *VT3, VT1*, а транзисторы *VT4, VT5* закрываются. Положительная обратная связь, осуществляемая через резистор *R12*, ускоряет процесс переключения транзисторов *VT1, VT3, VT4, VT5* релейного усилителя и, кроме того, повышает его устойчивость. Конденсатор *C4* также повышает устойчивость усилителя.

Переход коллектор-эмиттер открытого транзистора *VT1* через диод *VD1* шунтирует переход эмиттер-база транзистора *VT2*, вследствие чего последний закрывается, и преобразователь прекращает работу. Накопительный конденсатор медленно разряжается через резисторы *R7, R8, R9*, стабилитрон *VD9* и сопротивления утечек тиристора *VS1*, диодов *VD6, VD7* и собственное сопротивление изоляции. Через некоторое время напряжение на накопительном конденсаторе уменьшается настолько, что стабилитрон *VD9* закрывается. Транзисторы *VT3* и *VT1* релейного усилителя закрываются, а транзисторы *VT4, VT5* открываются. Преобразователь снова начинает работать (t_6 на рис. 2). Первый же импульс обратного хода подзаряжает накопительный конденсатор, напряжение на нем увеличивается и снова открываются стабилитрон *VD9* и транзисторы *VT3* и *VT1*. Преобразователь опять прекращает свою работу и т. д.

Таким образом, средний уровень напряжения на накопительном конденсаторе поддерживается постоянным. При уменьшении напряжения питания уменьшается сила тока разрыва — $i_р$, а следовательно, и энергия, накапливаемая в магнитном поле трансформатора за время прямого хода. Однако при этом частота работы преобразователя повышается и накопительный конденсатор начинает чаще подзаряжаться. В результате средний уровень напряжения на нем остается постоянным. Так, например, испытания показали, что при увеличении напряжения питания с 6,5 до 15 В, т. е. на 230 %, напряжение на накопительном конденсаторе увеличивается всего на 2 %, с 360 до 367 В.

То же самое происходит при увеличении тока утечки во вторичной цепи. Накопительный конденсатор начинает быстрее разряжаться, но и чаще подзаряжается. В результате средний уровень напряжения на нем остается постоянным.

Амплитуда пульсаций, или величина ступеньки напряжения на накопительном конденсаторе, в установившемся режиме зависит от энергии, запасаемой в магнитном поле трансформатора за время прямого хода. Чем эта энергия меньше, тем меньше величина ступеньки. На практике величина ступеньки не должна превышать 10...15 В. В противном случае напряжение искрообразования получается практически нестабилизированным. Действительно, поскольку работа преобразователя не

стабилизирована с работой прерывателя, контакты последнего могут размыкаться в любое время. Из рис. 2 видно, что напряжение, подводимое к катушке зажигания, будет больше, если прерыватель разомкнется в момент t_5, а не t_7. Если амплитуда ступеньки, например, будет равна 70 В, то напряжение искрообразования нельзя считать стабилизированным.

Вторым, и в то же время очень важным требованием, предъявляемым к преобразователю, если он предназначен для работы в системе зажигания, является его быстродействие. Он должен успеть зарядить накопительный конденсатор за время между двумя искрами, при максимальной частоте искрообразования 200 Гц, т. е. за 5 мс.

Быстродействие преобразователя в основном определяется силой тока разрыва $i_р$. Чем она больше, тем больше каждая порция энергии и тем быстрее заряжается накопительный конденсатор. При этом, правда, увеличивается и время нарастания тока. Однако последнее увеличивается пропорционально первой степени тока, а энергия — пропорционально квадрату тока. Поэтому общее время зарядки накопительного конденсатора при увеличении тока разрыва уменьшается. От индуктивности же первичной обмотки *I* трансформатора быстродействие преобразователя практически не зависит. Чем больше индуктивность, тем больше каждая порция энергии, но настолько же медленнее нарастает ток. Время прямого хода увеличивается. При увеличении индуктивности обмотки *I*, например путем увеличения сечения сердечника трансформатора, частота работы преобразователя снижается, конденсатор полностью заряжается, например, за 3—4 импульса обратного хода, однако общее время зарядки получается такое же, как и при меньшей индуктивности, когда конденсатор заряжается за 10—15 импульсов. Вместе с тем величина ступеньки в установившемся режиме в первом случае больше и, кроме того, трансформатор имеет большие габариты и массу.

Поэтому конструкция трансформатора преобразователя может быть самой различной. Необходимо только, чтобы потери в меди (в обмотке *I*) были примерно равны потерям в стали (в сердечнике), что можно определить по степени нагрева обмотки и сердечника (они должны нагреваться примерно одинаково). Кроме того, частота работы преобразователя в неустановившемся режиме ($t_1 — t_5$ на рис. 2) не должна превышать 10... 15 кГц, так как с увеличением частоты возрастают потери в транзисторе *VT2* и сердечнике трансформатора.

При уменьшении напряжения питания уменьшается сила тока разрыва и, следовательно, увеличивается общее время зарядки накопительного конденсатора. Однако при этом и частота искрообразования мала, например при пуске двигателя стартером, и накопительный конденсатор все равно успевает полностью зарядиться.

Остановимся на назначении некоторых элементов преобразователя.

Диод *VD1* защищает транзистор *VT1* от напряжения положительной полярности, появляющегося в обмотке *II* (на базе транзистора *VT2*) во время обратного хода.

Диод *VD4* компенсирует падение напряжения на диоде *VD1*, что необходимо для надежного запирания транзистора *VT2* при отпирании транзистора *VT1*.

Благодаря диоду *VD5*, включенному параллельно с резистором *R4*, отрицательная полуволна напряжения с обмотки *II* проходит к базе транзистора *VT2* через этот диод почти полностью, а положительная полуволна ограничивается на допустимом для транзистора *VT2* уровне диодами *VD2, VD3*.

Цепочка *R3C1* ограничивает амплитуду выброса напряжения на коллекторе транзистора *VT2* (в обмотке *I*) в момент его запирания. Этот импульс возникает вследствие того, что время переключения транзистора КТ837 очень мало, значительно меньше, чем постоянная времени трансформатора *T1*, поэтому во время действия переднего фронта импульса обратного хода (в течение нескольких микросекунд) обмотка *III* с диодом *VD6* и конденсатором *C3* как бы еще не подключена, и амплитуда импульса ограничивается лишь паразитной емкостью обмотки *I*. Без цепочки *R3C1* амплитуда импульса может достигать 70...80 В.

При замыкании контактов прерывателя через резисторы *R5, R6* и диод *VD8* начинает протекать ток. Напряжение на обмотке *I* трансформатора *T2* ограничено диодом *VD8*, в связи с чем амплитуда отрицательного импульса на управляющем электроде тиристора *VS1* в момент замыкания контактов прерывателя не превышает 0,35 В. Ограничение напряжения на обмотке *I*, кроме того, обеспечивает увеличение времени нарастания тока

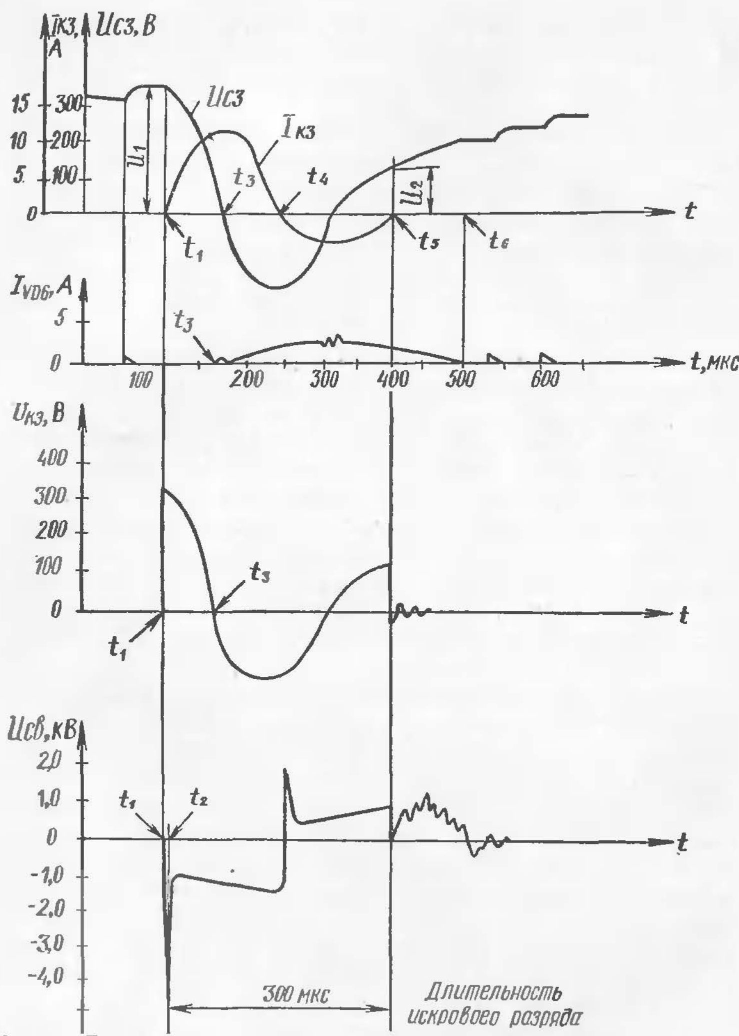


Рис. 3. Временные диаграммы работы системы зажигания с непрерывным накоплением энергии в момент преобразования: $U_{с3}$ — напряжение на накопительном конденсаторе *С3*, $I_{кз}$ — ток через первичную обмотку катушки зажигания, $U_{св}$ — напряжение на свече зажиганий

в обмотке, что позволяет устранить влияние дребезга контактов прерывателя.

Резисторы *R5, R6* ограничивают ток через обмотку *I* и вместе с конденсатором *С2* образуют фильтр НЧ, обеспечивающий необходимую помехоустойчивость системы зажигания.

К моменту размыкания контактов прерывателя ток в обмотке *I* достигает установившегося значения. В сердечнике трансформатора *Т2* накапливается электромагнитная энергия. Поэтому в момент размыкания контактов в обмотках трансформатора возникают импульсы напряжения. Положительный импульс с конца обмотки *II* поступает к управляющему электроду тиристора *VS1*, вследствие чего последний переключается (t_1 на рис. 3).

Первичная обмотка катушки зажигания подключается к заряженному до напряжения 350 В накопительному конденсатору *С3* и напряжение на ней в течение нескольких микросекунд возрастает до 350 В ($U_{кз}$). Скорость нарастания вторичного напряжения зависит от параметров катушки зажигания. При применении серийных катушек от обычной батарейной системы зажигания (например, Б117) искра возникает через 3...5 мкс после размыкания контактов прерывателя (t_2 на рис. 3).

Индуктивность первичной обмотки катушки зажигания и накопительный конденсатор *С3*, соединенные между собой через переключившийся тиристор, образуют колебательный контур, в котором возникают затухающие колебания. Ток в контуре —$I_{кз}$, протекающий в это время через тиристор и первичную обмотку катушки зажигания, как видно из рис. 3, отстает от напряжения на 90°. Через четверть периода, в момент t_3, ток в контуре достигает максимума, а напряжение на конденсаторе становится равным нулю, а затем меняет свой знак и делается отрицательным. Как только напряжение на накопительном конденсаторе становится отрицательным, открывается диод *VD6* и через него и обмотку *III* трансформатора *Т1* начинает протекать ток I_{VD6}, нагружая преобразователь и не давая ему возможности начать работать. Через полпериода, в момент t_4, ток в контуре становится равным нулю, и тиристор выключается. Однако благодаря диоду *VD7* колебательный контур не разрушается. Напряжение на накопительном конденсаторе в это время (t_4 на рис. 3) отрицательно, диод *VD7* открывается и ток контура протекает теперь через него.

Еще через полпериода в момент t_5 ток в контуре снова уменьшается до нуля, диод *VD7* закрывается и колебательный контур разрушается. Первичная обмот-

ка *I* катушки зажигания отключается от накопительного конденсатора, и искровой разряд в свече прекращается. Однако диод *VD6* еще в течение примерно 150 мкс остается открыт, пока энергия, накопленная в магнитном поле трансформатора *T1* (из-за протекания через обмотку *III* тока I_{VD6}), не будет израсходована на подзаряд накопительного конденсатора ($t_5 - t_6$ на рис. 3). Как видно из рис. 3, в момент t_5, когда диод *VD7* закрывается и колебательный контур разрушается, на накопительном конденсаторе имеется положительное напряжение U_2, составляющее примерно 30 % первоначального напряжения U_1. Значение напряжения U_2 определяется энергией, выделяемой в искровом разряде свечи зажигания, которая может быть подсчитана по формуле

$$W_и = \frac{C_3}{2}(U_1^2 - U_2^2).$$

Энергия, выделяемая в искровом разряде, при прочих равных условиях зависит от размеров искрового промежутка свечи зажигания. С увеличением размеров искрового промежутка напряжение U_2 уменьшается и, следовательно, энергия, выделяемая в искровом разряде, увеличивается.

Из рис. 3 видно, что длительность искрового разряда в описываемой системе (при работе с катушкой Б117) равна примерно 0,3 мс. Причем искровой разряд состоит из двух частей — положительной и отрицательной, соответствующих положительной и отрицательной полуволнам тока в первичной обмотке катушки зажигания.

Сравнительно малая длительность искрового разряда не является недостатком описываемой системы. Как показали исследования, в исправном и правильно рассчитанном двигателе после достижения нормального теплового режима воспламенение рабочей смеси происходит в течение 10...15 мкс, и искровой разряд длительностью свыше 1 мс, имеющий место в батарейной или транзисторных системах зажигания, бесполезен и вызывает лишь эрозию электродов свечей, сокращая их срок службы. Искра длительностью 1,0 мс и более может оказаться полезной лишь при пуске двигателя на переобогащенной смеси, как горячего, так и холодного.

Здесь следует отметить, что в описываемой системе зажигания с однотактным преобразователем длительность искрового разряда нельзя увеличить путем подключения диодов параллельно первичной обмотке катушки зажигания, как это сделано в системе с импульсным накоплением энергии, описанной в ВРЛ № 73.

При подключении диодов система прекращает работать. Потребляемый ток увеличивается до 3 А, и искрообразование прекращается. Это происходит потому, что напряжение на накопительном конденсаторе во время искрообразования теперь не становится отрицательным. Преобразователь продолжает все время работать и коммутирующий тиристор не выключается. Преобразователь превращается в генератор тока, питающий тиристор.

Напряжение на накопительном конденсаторе при этом равно падению напряжения в переключившемся тиристоре.

Для того чтобы система могла работать с диодом, ее необходимо снабдить дополнительным устройством, например заторможенным мультивибратором, запирающим транзистор *VT2* преобразователя на время искрового разряда.

К о н с т р у к ц и я   и   д е т а л и. Конструкция электронного блока может быть самой произвольной. Однако корпус блока должен быть изготовлен из алюминиевого сплава, что обеспечит хороший теплоотвод для нагревающихся элементов. Кроме того, он должен быть брызгозащищенным, так как попадание воды во время эксплуатации не исключено.

На радиаторах охлаждения должны быть установлены транзистор *VT2*, диоды *VD4* и *VD7*, тиристор *VS1*. Остальные элементы располагаются на печатной плате. Разъем *XP1* устанавливается на корпусе блока. Из разъема *XP1* выходит жгут проводов различной длины и расцветки для подключения к соответствующим точкам схемы на автомобиле. Разъем *XP2* со стороны монтажа закрывается цилиндрической заглушкой, а со стороны штырей крышкой с цепочкой (чтобы крышка не терялась), и закрепляется на жгуте проводов разъема *XS1*.

Разъемы *XP1, XP2* применены 2РМ 18Б 7Ш1В1, разъем *XS1* — 2РМ 18КПН 7Г1В1.

Типы полупроводниковых приборов, номиналы и мощности резисторов, а также номиналы конденсаторов указаны на схеме рис. 1. Постоянные резисторы применены типа МЛТ. Переменный резистор *R8* — СП5-1а, СП5-2. От качества этого резистора, от его временной стабиль-

ности зависит временная стабильность вторичного напряжения блока.

Конденсаторы *C1*, *C4* могут быть любого типа: слюдяные, пленочные, керамические, металлобумажные и т. д., но обязательно неэлектролитические, на напряжение не менее 50 В, с любым допускаемым отклонением емкости от номинала и любым температурным коэффициентом емкости. Конденсатор *C1*, например, может быть МБМ-160-0,05±20 %, а конденсатор *C4* — БМ-2-200В—0,01±20 %.

Конденсатор *C3* — МБГЧ, МБГО, МБГП на напряжение менее 500 В. Можно также применить два конденсатора МБМ по 0,5 мкФ на 500 В, включив их параллельно.

Электролитические конденсаторы *C2* и *C5* К50-20, К53, К52 на напряжение не менее 25 В и емкостью, не менее указанной на схеме.

Трансформатор *T1* имеет сердечник Ш16×16 (сечение 256 мм²) из стали Э330, Э340, Э44, который собирается встык с немагнитным зазором 0,15...0,25 мм (прессшпановая прокладка).

Обмотка *I* имеет 16 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,9...1,12 мм, обмотка *II* — 11 витков, а *III* — 290 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,35...0,47 мм.

Для трансформатора *T1* может быть применен и сердечник с другим сечением. Например, от блока с импульсным накоплением энергии (ВРЛ № 73). В этом случае витки обмоток изменяются обратно пропорционально корню квадратному из отношения сечений сердечников. Трансформатор *T1* должен быть хорошо стянут специальной обоймой. В противном случае при работе системы он будет создавать сильный шум.

Трансформатор *T2* выполнен на тороидальном сердечнике ОЛ12×20×6,5 из стали Э330, Э340. Обмотка *I* имеет 150 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,33 мм, а обмотка *II* — 75 витков того же провода, но диаметром 0,15 мм.

При замене транзисторов и диодов следует руководствоваться режимами их работы, которые приведены в табл. 1 (диоды) и табл. 2 (транзисторы). В качестве примера в этих таблицах указаны некоторые варианты возможной замены. При замене транзистора *VT2* КТ837В на КТ837А(Б) работа блока ухудшается.

Таблица 1

Обозначение на схеме	Тип диода	Импульсный прямой ток, А	Обратное напряжение, В	Возможная замена
VD1	КД209А	0,5	15	КД209Б, КД208А
VD2, *VD3*	КД209А	0,08	1	КД209Б, КД208А
VD4	КД202А	7,0	7,5	КД202В, Д, Ж, К, М, Р
VD5	КД209А	0,8	40	КД208А
VD6	КД209В	3,0	430	КД202Р
VD7	КД202Р	3,2	350	КД202М, К
VD8	КД209А	0,23	8	КД209Б, В, КД208А

Таблица 2

Обозначение на схеме	Тип транзистора	Импульсный ток коллектора, А	Напряжение коллектор — эмиттер, В	Возможная замена
VT1	КТ209А, *p-n-p*	0,5	2,0	КТ209, КТ208, КТ502 с любым буквенным индексом
VT2	КТ837В, *p-n-p*	7	60	КТ837А, Б
VT3	КТ315А, *n-p-n*	0,002	0,6	КТ315, КТ342 с любым буквенным индексом
VT4	КТ315И, *n-p-n*	0,007	15	КТ315, КТ342 с любым буквенным индексом
VT5	КТ209А, *p-n-p*	0,05	1,0	КТ209, КТ208, КТ502 с любым буквенным индексом

Вследствие малого коэффициента усиления по току заменяющих транзисторов уменьшается сила тока разрыва i_p (см. рис. 2) и, как следствие, увеличивается время зарядки накопительного конденсатора. Быстродействие системы снижается и, кроме того, увеличивается ее минимальное рабочее напряжение.

При замене транзистора *VT4* следует выбирать транзистор с максимальным напряжением коллектор — эмиттер, так как на его коллекторе в некоторые моменты времени (t_6 — t_7 на рис. 2) бывает полное напряжение бортовой электросети с импульсными помехами, в несколько раз превышающими номинальное бортовое напряжение.

Вместо стабилитрона КС191Ж (*VD9*) может быть применен любой другой стабилитрон с минимальным током стабилизации не более 0,5 мА. Например, КС175Ж, КС210Ж, 2С191Ц, 2С210Ц и т. д. В случае, если напряжение стабилизации заменяющего стабилитрона будет значительно отличаться от напряжения стабилизации стабилитрона КС191Ж (7,7...9,6 В), то может потребоваться некоторое изменение сопротивлений резисторов *R7, R9*.

При налаживании блока катушка зажигания с искровым промежутком и прерыватель должны быть подключены по схеме рис. 1. Штатный конденсатор *С* от клеммы прерывателя должен быть отсоединен. Вместо прерывателя может быть также использовано какое-либо поляризованное реле (например, РП-4), обмотку которого подключают к звуковому генератору или к сети переменного тока 50 Гц, 220 В (в последнем случае — через гасящее сопротивление или понижающий трансформатор).

В качестве источника питания используют стартерный аккумулятор или какой-либо стабилизированный источник питания постоянного тока с напряжением от 6,5 до 15 В и током не менее 5 А, например ВС-26, Б5-21 и т. д.

Перед включением питания движок переменного резистора *R8* устанавливают в верхнее по схеме положение, чтобы напряжение на накопительном конденсаторе *С4* было сначала минимальным. Параллельно обкладкам конденсатора *С4* подключают вольтметр постоянного тока на напряжение 500 В с потребляемым током не более 100 мкА (с входным сопротивлением не менее 5 МОм).

Первоначальную проверку блока производят при напряжении питания 12...14 В и разомкнутых контактах прерывателя. Если блок собран правильно и все детали исправны, он начинает работать сразу и налаживание его состоит лишь в установке с помощью переменного резистора *R8* нужного напряжения на накопительном конденсаторе. После включения питания должен быть слышен характерный «писк» чистого тона, являющийся следствием работы преобразователя.

Вращая ось переменного резистора *R8*, выставляют напряжение на накопительном конденсаторе 350...360 В. При этом ток, потребляемый блоком, не должен превышать 0,5 А. Затем проверяют работу преобразователя

при крайних значениях напряжения питания 6,5 и 15 В. При изменении напряжения питания в этих пределах напряжение на накопительном конденсаторе должно практически оставаться постоянным. Изменяться должен лишь тон «писка» и потребляемый ток, который при 6,5 В должен быть не более 1,5 А, а при 15 В — не более 0,5 А.

Затем вольтметр постоянного тока отсоединяют и проверяют работу системы зажигания при различных частотах вращения вала распределителя (при различных частотах искрообразования). Во время работы прерывателя в искровом промежутке разрядника должно наблюдаться устойчивое искрообразование. Напряжение, подводимое к первичной обмотке катушки зажигания, при этом можно измерить с помощью импульсного вольтметра или осциллографа. Устанавливают напряжение источника питания 14 В и увеличивают частоту работы прерывателя (или устройства, его заменяющего) до 200 Гц (6000 об/мин), при этом напряжение, подводимое к первичной обмотке катушки зажигания, не должно уменьшаться. Если же оно уменьшается, это значит, что преобразователь не успевает полностью заряжать накопительный конденсатор, т. е. быстродействие преобразователя недостаточно. В этом случае следует увеличить немагнитный зазор в сердечнике трансформатора или же уменьшить пропорционально количество витков всех обмоток с тем, чтобы уменьшить индуктивность обмотки *I*. Кроме того, это может происходить, если коэффициент усиления по току транзистора *VT2* мал. Тогда необходимо заменить транзистор или же уменьшить сопротивление резистора *R2* до 10 Ом.

Установка на автомобиле. На автомобиле электронный блок устанавливается в подкапотном пространстве, там, где температура не превышает +60 °С и где исключено прямое попадание воды.

Провода жгута *XS1* подключаются к соответствующим точкам схемы электрооборудования автомобиля в соответствии со схемой рис. 1, на которой показано подключение к катушке Б117 без дополнительного резистора (автомобили «Жигули»). Провод от вывода *2* в этом случае остается свободным.

Если катушка будет с дополнительным резистором, то вывод *2* подключается к клемме катушки *ВК*, а вывод *7* к клемме *ВК-Б*.

При установке блока на моделях ВАЗ-2103, 2106, 21021, имеющих электронный тахометр, коричневый провод тахометра подключается к клемме *1* катушки через резистор МЛТ сопротивлением 1...3 кОм и мощностью 1 Вт. При соединении напрямую тахометр работает неустойчиво.

Штатный конденсатор от клеммы прерывателя должен быть обязательно отсоединен и подключен к проводу вывода *6* (разъема *XS1*). После монтажа блока на автомобиле и проверки его работоспособности следует проверить устройство переключения с электронного зажигания на обычное. Для этого при выключенном зажигании отсоединяют разъем *XS1* от разъема *XP1* и соединяют его с разъемом *XP2*. Система зажигания должна продолжать исправно работать.

Приставка к электронному блоку конденсаторной системы зажигания с непрерывным накоплением энергии для получения многократного искрообразования

Приставка обеспечивает получение многократного искрообразования в режиме пуска двигателя стартером. Первая искра возникает, как и обычно, после размыкания контактов прерывателя, затем следует серия искр до тех пор, пока контакты не замкнутся. Отличительной чертой приставки является то, что она не содержит собственного автогенератора и частота многократного искрообразования определяется быстродействием самой системы зажигания. Каждая последующая искра возникает лишь после того, как накопительный конденсатор полностью заряжается. Если же накопительный конденсатор полностью не зарядится, режим многократного искрообразования прекращается и система работает в однократном режиме.

Электрическая принципиальная схема приставки с цепями подключения на автомобиле приведена на рис. 4. Собственно приставка состоит из симметричного триггера на транзисторах *VT7, VT8*, электронного ключа — имитатора контактов прерывателя на транзисторах *VT9, VT10* и импульсного инвертора на транзисторе *VT6*. К электронному блоку приставка подключается, как показано на рис. 4. На этом рисунке элементы системы зажигания и элементы электронного блока обозначены так же, как на рис. 1: *ЭБ* — электронный блок, *ВЗ* —

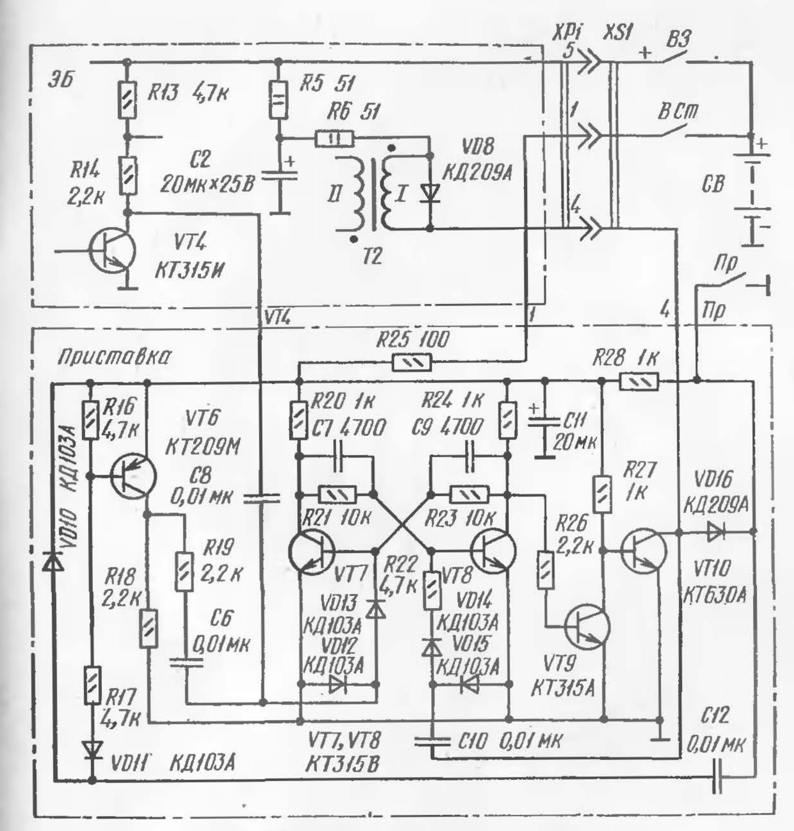


Рис. 4. Принципиальная схема приставки

выключатель зажигания, *ВСт* — выключатель стартера, *Пр* — прерыватель, *GB* — аккумулятор. Остальные элементы и цепи системы зажигания на рис. 4 не показаны, так как они работают так же, как и без приставки.

На рис. 5 приведены временны́е диаграммы, характеризующие работу устройства с приставкой. Система работает следующим образом. Допустим, что в момент включения выключателя стартера, подающего питание на приставку, контакты прерывателя *Пр* замкнуты (t_1 на рис. 5). После включения питания триггер на транзисторах *VT7, VT8* может установиться в любое состояние. Допустим, что *VT7* закрыт, а *VT8* открыт. Такое состояние триггера будем называть первым устойчивым.

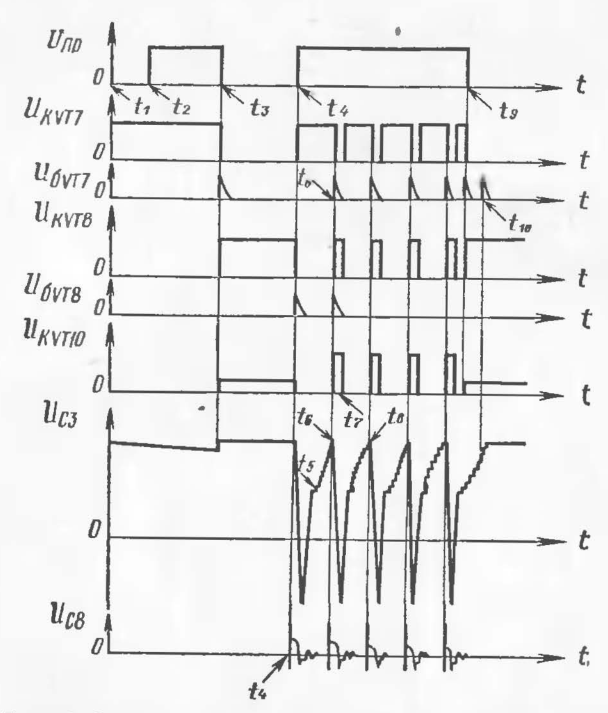


Рис. 5. Временные диаграммы работы системы зажигания с непрерывным накоплением энергии в режиме многократного искрообразования (с приставкой):

$U_{КVT7}$, $U_{бVT7}$ — напряжения на коллекторе и базе транзистора *VT7*; $U_{КVT8}$, $U_{бVT8}$ — напряжения на коллекторе и базе транзистора *VT8*; $U_{КVT10}$ — напряжение на коллекторе *VT10*; $U_{св}$ — напряжение на свече зажигания

Следовательно, транзистор *VT9* будет закрыт, а транзистор *VT10* открыт током в его базу через резистор *R27*. Через резисторы *R5, R6* электронного блока и обмотку *I* трансформатора *T2* протекает ток коллектора транзистора *VT10*, и в сердечнике трансформатора накапливается электромагнитная энергия. Причем, если триггер установится во второе устойчивое состояние и транзистор *VT10* будет закрыт, ток обмотки *I* будет протекать через диод *VD16* и замкнутые контакты прерывателя.

Первое размыкание (t_2 на рис. 5) контактов прерывателя, если транзистор *VT10* открыт, не изменит состояния элементов в устройстве. При замыкании контактов прерывателя конденсатор *C12* заряжается через переход эмиттер — база транзистора *VT6*, резистор *R17* и диод *VD11*. Транзистор *VT6* на короткое время открывается и положительный импульс с его коллектора через резистор *R19*, конденсатор *C6* и диод *VD13* поступает на базу транзистора *VT7*. Триггер переключается во второе устойчивое состояние (t_3 на рис. 5), транзистор *VT7* открывается, а транзистор *VT8* закрывается. Транзистор *VT9* открывается током в его базу через резисторы *R24, R26*, а транзистор *VT10* закрывается. Ток обмотки *I* трансформатора *T2* теперь протекает через диод *VD16* и замкнутые контакты прерывателя.

В момент размыкания контактов прерывателя, как и обычно, в системе происходит искрообразование (t_4 на рис. 5), кроме того, положительный импульс, образующийся при этом в обмотке *I* трансформатора *T2*, проходит через конденсатор *C10*, диод *VD14* и резистор *R22* к базе транзистора *VT8*, и триггер снова переключается в первое устойчивое состояние. Транзистор *VT8* открывается и, следовательно, открывается транзистор *VT10*, что равносильно замыканию контактов прерывателя. Через обмотку *I* трансформатора *T2* начинает протекать коллекторный ток транзистора *VT10*.

После прекращения искрообразования в свече зажигания (t_5 на рис. 5) преобразователь начинает работать и в момент t_6 заряжает накопительный конденсатор до заданного напряжения 350...360 В. Как только напряжение на накопительном конденсаторе достигает заданного значения (t_6 на рис. 5), стабилитрон *VD9* (см. рис. 1) устройства стабилизации электронного блока открывается, транзисторы *VT3, VT4, VT5* релейного усилителя переключаются, причем транзистор *VT4* закрывается, и напряжение на его коллекторе скачком становится положительным. Положительный импульс с коллектора транзистора *VT4* через конденсатор *C8* и диод *VD13* поступает на базу транзистора *VT7*. Триггер переключается во второе устойчивое состояние — транзистор *VT7* отпирается, а транзисторы *VT8* и *VT10* запираются. Запирание транзистора *VT10* равносильно размыканию контактов прерывателя. В системе возникает вторая искра. Одновременно положительный импульс с коллектора транзистора *VT10* через конденсатор *C10*, диод *VD14* и резистор *R22* поступает на базу транзистора

VT8, вследствие чего триггер снова переключается в первое устойчивое состояние (t_7 на рис. 5). Транзистор *VT7* закрывается, а транзистор *VT8* открывается. В результате напряжение на коллекторах транзисторов *VT7, VT8, VT10* имеет вид коротких импульсов длительностью несколько микросекунд. На рис. 5 длительность этих импульсов (для большей наглядности) условно увеличена.

После окончания искрообразования накопительный конденсатор снова заряжается и, когда он зарядится до заданного напряжения (t_8 на рис. 5), запирается транзистор *VT4* электронного блока и положительный импульс с его коллектора переводит триггер опять во второе устойчивое состояние. В системе возникает третья искра. Затем вышеописанные процессы повторяются до момента замыкания контактов прерывателя (t_9 на рис. 5).

В момент замыкания контактов прерывателя на базу транзистора *VT7* с коллектора транзистора *VT6* поступает положительный импульс, и триггер переключается во второе устойчивое состояние. Транзистор *VT7* открывается, а транзисторы *VT8* и *VT10* закрываются. Однако искра в системе не возникает, так как транзистор *VT10* в это время зашунтирован замкнутыми контактами прерывателя, и ток через обмотку *I* трансформатора *T2* не прекращается.

Положительный импульс, возникающий на коллекторе транзистора *VT4* и поступающий к базе транзистора *VT7* в момент окончания зарядки накопительного конденсатора (t_{10} на рис. 5), при этом также не изменит состояния элементов в устройстве, так как триггер уже находится во втором устойчивом состоянии.

Таким образом, в режиме многократного искрообразования, когда контакты прерывателя разомкнуты, сигналом для каждой последующей искры служит положительный импульс, возникающий на коллекторе транзистора *VT4* в момент окончания зарядки накопительного конденсатора. В случае же, если накопительный конденсатор по каким-либо причинам, например из-за малого напряжения питания при большой частоте вращения коленчатого вала, не успеет полностью зарядиться до момента замыкания контактов прерывателя и указанный импульс не возникнет, то в момент замыкания контактов, благодаря импульсу от инвертора на транзисторе *VT6*, триггер переключится во второе устойчивое состояние — транзистор *VT7* отопрется, а транзисторы *VT8* и *VT10* запрутся, и система сможет работать в режиме однократного искрообразования. Без импульсного инвертора на транзисторе *VT6* система зажигания в этом случае вообще бы прекращала работать. Транзистор *VT10* был бы все время открыт до тех пор, пока накопительный конденсатор не начал бы снова полностью заряжаться.

Диоды *VD10, VD12, VD15* предназначены для разрядки конденсаторов *C12, C6, C8, C10* после окончания действия рабочих импульсов.

Резисторы *R17, R19, R22, R26* ограничивают токи базы соответствующих транзисторов на допустимом уровне.

Резистор *R25* и конденсатор *C11* образуют фильтр НЧ, защищающий приставку от импульсных помех бортовой электросети автомобиля, интенсивность которых усиливается во время работы стартера.

Конструкция и детали. Приставка не имеет элементов, нагревающихся при работе, поэтому все элементы располагаются на печатной или монтажной плате из текстолита с контактными лепестками, которая помещается в какой-либо металлический кожух или коробку, защищающую плату от попадания воды, пыли и т. п.

Приставка может быть собрана также в одном корпусе с электронным блоком.

Типы полупроводниковых приборов, а также номиналы резисторов и конденсаторов указаны на схеме рис. 4. Все резисторы МЛТ. Конденсаторы любого типа на напряжение не менее 25 В. Электролитический конденсатор *C11* должен иметь емкость не менее 20 мкФ и допускать работу при температурах от —30 до +60 °С.

Все указания, приведенные выше относительно элементов электронного блока и их возможной замены, остаются в силе и в данном случае.

Налаживание и установка на автомобиле. Если приставка собрана правильно и ее детали исправны, то она начинает работать сразу и никакого налаживания не требует. Проверку работоспособности следует производить совместно с исправным электронным блоком, собранным по схеме рис. 1. Это требование связано с тем, что электронный блок для работы с приставкой требует некоторой доработки. Необходимо вывести из блока два провода — от коллектора транзисто-

ра *VT4* и от контакта *1* разъема *XP1*, которые подключаются к одноименным выводам приставки. Подключение приставки производится в соответствии со схемой рис. 4. Провод от прерывателя разрывается и его концы подключаются к выводам приставки *4* и *Пр.*

Проверку работоспособности производят при напряжении питания 12...15 В и частоте искрообразования не более 20 Гц (не более 600 об/мин).

Сначала проверяют работоспособность системы в режиме однократного искрообразования, т. е. при разомкнутом выключателе *ВСт*, затем его включают. Ток, потребляемый системой, должен сразу возрасти и должен измениться звук искрообразования. Удобно контролировать работу системы с помощью осциллографа, подключив его через делитель напряжения параллельно первичной обмотке катушки зажигания.

При работе в режиме однократного искрообразования на экране осциллографа должны наблюдаться импульсы с амплитудой около 350 В, частота следования которых равна частоте размыкания контактов прерывателя. При включении выключателя *ВСт* количество импульсов должно увеличиться: примерно половина периода должна быть заполнена импульсами.

Проверку работы приставки можно производить также непосредственно на автомобиле, используя электронный тахометр, измеряющий частоту искрообразования, или же «на искру». В последнем случае отсоединяют центральный высоковольтный провод распределителя и приближают его на расстояние 10...15 мм к массе двигателя. Вывод блока *1 — ВСт* сначала не подключают. Затем, вращая вал двигателя стартером и наблюдая за искрообразованием между центральным проводом и массой, «на ходу» подключают вывод *1 — ВСт*. Звук искрообразования и цвет искры должны измениться.

Литература

Глезер Г. Н., Опарин И. М. Автомобильные электронные системы зажигания.— М.: Машиностроение, 1977.
Синельников А. Х. Блок электронного зажигания повышенной надежности.— В помощь радиолюбителю. Вып. 73, с. 38—50.

ТЕЛЕВИДЕНИЕ

АНТЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДМВ

А. Шевченко

В последнее время большое распространение получило вещание телевидения на ДМВ. Однако из-за малых мощностей ретрансляторов, специфики распространения ДМВ и низкой чувствительности телевизоров зоны уверенного приема телесигналов небольшие. Приходится применять сложные антенны с большим усилением и малошумящие антенные усилители. Предлагаемый антенный усилитель несложен по конструкции, прост в наладке и имеет следующие параметры:

Полоса усиливаемых частот, МГц	470...790
Неравномерность АЧХ, дБ	3
Коэффициент усиления, дБ	12
Входное сопротивление, Ом	75
Выходное сопротивление, Ом	75
Напряжение питания, В	+12
Потребляемый ток, мА	12

Входная цепь (рис. 1), выполненная в виде Т-образного фильтра верхних частот и состоящая из элементов *C1, C2, L1* и *L2*, обеспечивает согласование усилителя с антенной. Два каскада усиления собраны по схеме с общим эмиттером. Стабилизация режимов транзисторов по постоянному току осуществляется с помощью отрицательных обратных связей через резисторы *R1* и *R4*. Такая схема стабилизации позволяет непосредственно заземлить эмиттерные выводы транзисторов, что обеспечивает высокий устойчивый коэффициент усиления каскадов. Малые сопротивления резисторов нагрузок каскадов исключают возможность возбуждения усилителя на низких частотах. Питание усилителя осуществляется по сигнальному кабелю напряжением +12 В от СКД телевизора, согласно рис. 2. Дроссель *L3* и конденсатор *C7* предназначены для разделения постоянного напряжения и высокочастотного сигнала. В усилителе постоянное напряжение через резистор *R6* запитывает его

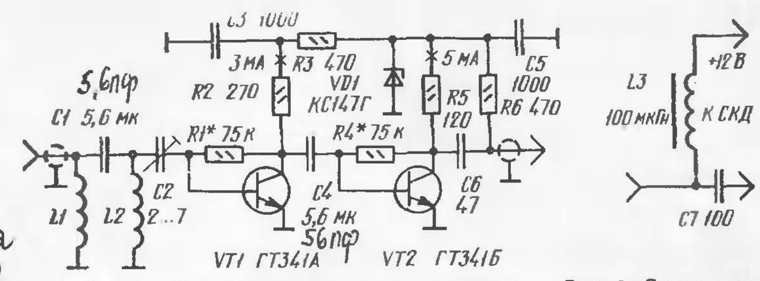


Рис. 1. Принципиальная схема усилителя

Рис. 2. Схема подключения дополнительных элементов ко входу телевизора

каскады, а высокочастотный сигнал через конденсатор *C6* подается в кабель снижения.

Усилитель смонтирован на плате размерами 60×37 мм, изготовленной из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5...2 мм. Транзисторы вставлены в отверстия диаметром 6 мм, просверленные в плате, а монтаж выполнен на опорных точках, вырезанных резаком в фольге (рис. 3). Катушка *L1*, конденсаторы *C1*, *C6* и резистор *R6* подпаиваются одним концом непосредственно к центральной жиле кабеля.

Экранирующий корпус изготавливают из меди толщиной 0,2...0,4 мм. Плата подпаивается в нескольких точках к стенкам корпуса. Экранирующие оплетки кабелей припаиваются непосредственно к корпусу. Вход и выход кабелей из корпуса дополнительно герметизируется клеем «Суперцемент» или аналогичным, водостойким.

Фильтр разделения напряжения питания и высокочастотного сигнала конструктивно следует собрать в отдельном медном корпусе (рис. 4). С одной стороны на корпусе укреплено гнездо для подключения кабеля снижения антенны, а с другой — штекер для подключения непосредственно к гнезду антенного входа телевизора. Опорную точку для подведения напряжения питания можно изготовить из стеклянного изолятора выводов бумажного конденсатора МБГЧ-1 или аналогичного.

В усилителе могут быть применены резисторы МЛТ-0,125, МЛТ-0,25, конденсаторы КМ, КД, КПК-МН, транзисторы ГТ329, ГТ341, ГТ361, КТ372, дроссель *L3* ДМ 0,1-10 или же двадцать витков провода ПЭЛШО-0,1,

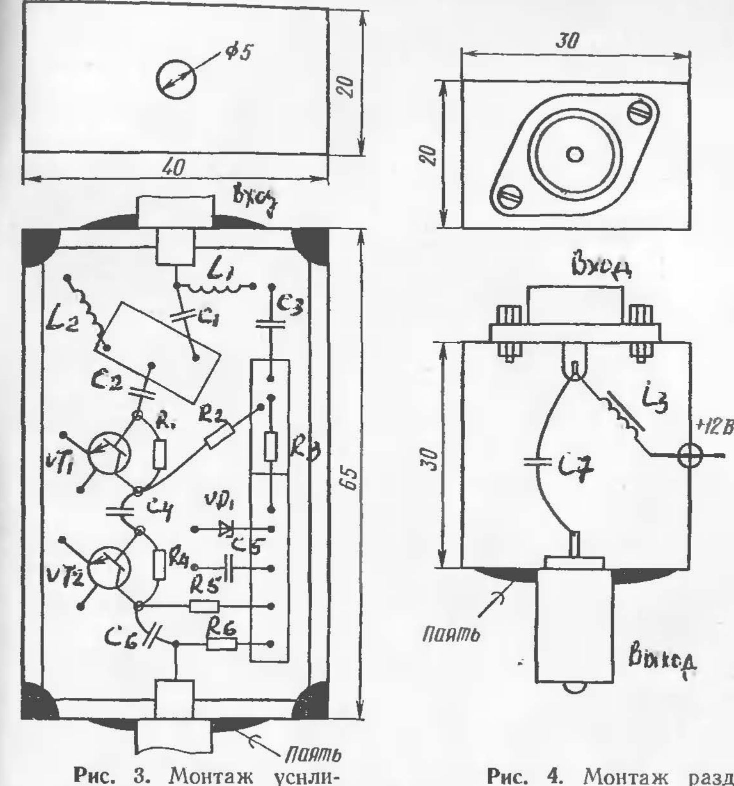


Рис. 3. Монтаж усилителя

Рис. 4. Монтаж разделительного фильтра

намотанных на стержне Ф 600 2,74×12,7 мм. Катушки *L1* и *L2* бескаркасные, *L1* имеет 10 витков провода ПЭЛ-0,5, а *L2* — 2 витка провода ПЭЛ-0,8, намотка рядовая, на оправке диаметром 5 мм.

Настройка антенного усилителя не вызывает затруднений. Подбором резисторов *R1* и *R4* устанавливают токи транзисторов *VT1* и *VT2* соответственно 3 и 5 мА. Конденсатор *C2* подстраивают по наилучшему качеству изображения.

После настройки усилителя на корпус надевается крышка из меди и пропаивается по всему периметру.

Усилитель необходимо установить в непосредственной близости от антенны.

Литература: Жутяев С. Г. Любительская УКВ радиостанция.— М.: Радио и связь, 1981.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИМС ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Б. Успенский

После публикации в сборнике ВРЛ № 81 статьи * со справочными материалами по цифровым интегральным микросхемам (ИМС) прошло несколько лет, в течение которых состав серий ИС со структурами ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика) и КМОП (комплементарная структура типа металл—окисел—полупроводник) пополнился вновь разработанными микросхемами. Наибольшее применение в радиолюбительской практике нашли ИМС серий К155 и К176. В последнее время осваивается производство перспективной серии К561.

В соответствии с той же системой обозначений, как и в упомянутой статье, в таблице приведены сведения о новых микросхемах серий К155 и К561. Дополнительно отметим, что получили также значительное развитие серии ИМС широкого применения К531 и К555 со структурой ТТЛШ (ТТЛ с диодами Шоттки).

Цифровые ИС широкого применения выпускаются в пластмассовых корпусах с числом выводов 14, 16 и 24. Радиолюбителям следует иметь в виду, что принятое ранее правило одинакового расположения выводов питания утратило силу для всех типов корпусов ИС. В связи с этим при трассировке печатных плат следует внимательно относиться к расположению питающих перемычек, не забывая о необходимости установки блокировочных конденсаторов между шинами питания и «Общий». Рекомендуемые величины емкостей конденсаторов различны:

1. Для ИС серий К155, К531 требуется установка возле каждой ИС безындукционных (керамических) конденсаторов емкостью 0,002...0,1 мк в зависимости от степени интеграции ИМС, а также на плату одного-двух электролитических конденсаторов емкостью из расчета 1...5 мк на одну ИМС.

2. Для ИС серии К555 рекомендуется установка безындукционных конденсаторов из расчета один конденсатор на группу не более чем пять ИС емкостью не менее 0,003 мк на каждую ИМС, а также одного конденсатора с номинальным напряжением не менее 10 В и емкостью 0,5...1 мк на каждые пять-десять ИМС.

3. При создании устройств с микросхемами серий К176, К561 типы конденсаторов и значения их емкостей выбирают, ориентируясь на данные расчета: электролитический — не менее 0,03 мк на одну ИМС, безындукционный — 0,068 мк на каждые пятьдесят ИМС.

Разработка электронной аппаратуры на микромощных ИС со структурой КМОП сопряжена с необходимостью учитывать особенности внутреннего строения микросхем. Из опыта работы с ИМС серии К176 известно, что такие микросхемы подвержены губительному воздействию статических зарядов при монтаже. В связи с этим ИМС серии К561 содержат во входных цепях охранные диоды и последовательно защитное сопротивление 0,2...2 кОм для предотвращения пробоя пленки окисла в затворе. Постоянная времени входной цепи не превышает 10 нс. Опасное значение электрического потенциала составляет +100 В. Пайку микросхем рекомендуется начинать с выводов питания, затем последовательность пайки выводов может быть любой. Все неиспользуемые входные выводы должны соединяться с питающей или общей шиной, к другим свободным выводам никаких потенциалов подключать нельзя. В любых режимах работы напряжения на входах ИМС не должны превышать напряжения на выводе питания, за исключением ИМС К561ЛН2, К561ПУ4. Это ограничение связано с протеканием тока в положительном направлении через охранный диод по цепи вход—шина «питание». При эксплуатации микросхем для исключения «тиристорного эффекта», нередко приводящего к выходу ИМС из строя, в любых случаях необходимо обеспечить первоочередное выключение входных сигналов до отключения напряжения питания, а также предотвратить подачу входных сигналов до включения источника питания. С увеличением частоты переключения не следует нагружать выходы ИМС суммарной

* Майзульс Р. Цифровые интегральные схемы и их иностранные аналоги.

емкостью более 750...3000 пФ, чтобы рассеиваемая одним корпусом мощность не превысила допустимого значения 150 мВт.

Таблица

Новые разработки ИС со структурой ТТЛ и КМОП

№ п/п	Обозначение	Серия ТТЛ		Серия КМОП		Функциональное назначение
		К155	Функц. аналог	К561	Функц. аналог	
1	ИД1			+	28A	Двоично-десятичный дешифратор
2	ИД15	+	—			Дешифратор для управления шкалой с общими анодами
3	ИЕ14			+	29A	Двоичный/двоично-десятичный 4-разрядный реверсивный счетчик с предварительной установкой
4	ИЕ15А			+	59A	Программируемый счетчик
5	ИЕ19			+	18A	5-разрядный счетчик Джонсона с предварительной установкой
6	ИК1			+	—	Строенный мажоритарно-мультиплексорный элемент
7	ИМ1			+	08A	4-разрядный сумматор
8	ИР2			+	15A	Два 4-разрядных регистра сдвига
9	ИР32	+	170			Регистр на четыре 4-разрядных слова
10	КП2			+	51A	Восьмиканальный мультиплексор
11	ЛН3			+	µPD 4503BC	Шесть повторителей с блокировкой с тремя состояниями
12	ЛП4	+	17			Шесть буферных формирователей с открытыми коллекторными выходами
13	ТВ15	+	109			Сдвоенный триггер *JK*
14	ТЛ1			+	93A	Четыре триггера Шмитта с входной логикой 2И-НЕ

СОДЕРЖАНИЕ

В ПОМОЩЬ РАДИОЛЮБИТЕЛЮ

Выпуск 90

Составитель *Николай Федорович Назаров*

Заведующий редакцией *А. В. Куценко*
Редактор *М. Е. Орехова*
Художник *В. А. Клочков*
Художественный редактор *Т. А. Хитрова*
Технический редактор *Е. В. Дмитриева*
Корректор *В. Д. Синева*

ИБ № 1763
Сдано в набор 02.10.84. Подписано в печать 05.05.85. Г-80728. Формат 84×108/32. Бумага типографская № 3. Гарнитура литер. Печать высокая. Усл. п. л. 4,20. Усл. кр.-отт. 4,52. Уч.-изд. л. 4,10. Тираж 900 000 экз. Заказ № 4—2993. Цена 30 к. Изд. № 2/г — 353.

Ордена «Знак Почета» издательство ДОСААФ СССР.
129110, Москва, Олимпийский просп., 22.

Головное предприятие республиканского производственного объединения «Полиграфкнига», 252057, Киев, ул. Довженко, 3.